

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE PETROLOGIA E GEOTECTÔNICA

Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA) e MULTILAB/UERJ

Trabalho de Graduação

Datação através dos métodos geocronológicos (U-Pb) e (Lu-Hf) de rochas pertencentes ao Complexo da Pedra Branca, Rio de Janeiro - RJ

Aluna

Ana Carolina Machado Moterani

201304003-0

Orientador

Prof. Dr. Mauro Geraldes

(Faculdade de Geologia/UERJ)

Co-Orientação

Prof. Dr. Rubem Porto Jr.

(DPG/IA/UFRuralRJ)

dezembro de 2018

1 – Moterani, Ana Carolina Machado

Datação através dos métodos geocronológicos (U-Pb) e (Lu-Hf) de rochas pertencentes ao Complexo da Pedra Branca, Rio de Janeiro - RJ

Curso de Geologia / Departamento de Petrologia e Geotectônica
Instituto de Agronomia / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro –
UFRRJ

1

[Seropédica]

Ano 2018

Trabalho de Graduação
Monografia

Área de Concentração: Petrologia - Geologia Regional

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Carlos Moterani e Marise Rodrigues Machado, por sempre me darem todo incentivo e apoio, financeiro e emocional, que precisei e que me permitiram chegar a este momento.

Agradeço à minha mãe, Marise Rodrigues Machado, por todos os ensinamentos passados e todo amor dedicado em todos os momentos da minha vida. Você sempre será a dona de todas as minhas vitórias, da minha maior gratidão e do meu amor mais sincero.

Agradeço ao meu professor e co-orientador, Dr. Rubem Porto Jr, por todo apoio durante este período da graduação, por todos ensinamentos em sala de aula e fora dela. Por estar sempre aberto a discussões e pela gigante paciência demonstrada sempre. Agradeço a amizade construída e todo o suporte concedido para a realização deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Mauro Geraldês, pelos conhecimentos passados e pela paciência durante a execução deste trabalho. Obrigada por me abrir as portas da UERJ, do LGPA e do MULTILAB e assim, me permitir conhecer Gabi, Vitalino, Raimundo e Marco, pessoas que gostei muito de conhecer e que foram importantes para este trabalho.

Agradeço aos meus amigos Lucas Cunha, Leila Araújo, Douglas Rodrigues, Theresa Rocco, Pedro Hatherly e Matheus Dias por todos os momentos compartilhados durante esta graduação. Nossa amizade é para vida.

Agradeço à UFRRJ, a toda geologia da Rural, em especial a turma de 2014, por ter me acolhido tão bem. Obrigada por todo companheirismo dentro e fora de aula. Jay, Amanda, Duda, Dani e Natasha, Obrigada!

Agradeço ao Guto e Natália (Zé) por compartilharem comigo o ano mais louco e diferente da minha vida. Obrigada por tanto aprendizado.

Agradeço aos meus amigos Jeison Oliveira e Thais Megale pela amizade da vida inteira e por ensinarem que “a vida não se resume a um simulado de exatas”.

Agradeço à Fernanda Aguiar por ser minha família, minha companheira de vida, meu amor. Obrigada por me dar outra família, em especial a tia Ju. Obrigada, de verdade, por tudo.

Agradeço à tia Márcia, tia Mary, Lyndse e Marina por estarem sempre ao meu lado.

Por fim, agradeço a todos que passaram pela minha vida e que, de uma forma ou outra, foram importantes para que eu chegasse até aqui. Muito obrigada.

RESUMO

O Complexo da Pedra Branca (CPB) está localizado geograficamente na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro e está inserido tectonicamente no Domínio Costeiro, pertencente ao Terreno Oriental da Faixa Ribeira Central. Os litotipos que formam o complexo foram gerados em eventos relacionados a Orogênese Brasileira (~600 Ma). As rochas encaixantes são formadas por gnaisses ortoderivados pré-colisionais, gnaisses ortoderivados sin-colisionais e rochas metassedimentares. A formação dos granitoides e das rochas máficas está relacionada a um estágio tardi- a- pós-D3 e seus principais representantes são o tonalito Tachas e o gabro da Grota Funda respectivamente. Em um evento magmático mais recente, tardi- a pós-colisional, ocorreu a formação do granito Pedra Branca e do granito Favela. O granito Pedra Branca se encontra individualizado em quatro diferentes fácies: Média-Homogênea, Bandada, Pegmatítica e Hololeucocrática. O objetivo deste trabalho visou gerar idades e obter informações acerca do magmatismo, pelos métodos geocronológicos (U-Pb) e (Lu-Hf), para dez amostras coletadas em diferentes regiões do complexo e associá-las com dados já existentes, a fim de contribuir para a compreensão de seu contexto geológico evolutivo. As amostras são representativas de três diferentes litologias: tonalito Tachas, granito Pedra Branca (três de suas quatro diferentes fácies) e granito Favela. Inicialmente as amostras foram preparadas a partir dos processos de lavagem, secagem, britagem manual, cominuição em moinho britador e moinho de discos, concentração de minerais pesados por bateia, mesa vibratória e líquidos densos e separação magnética. Em seguida os grãos de zircão foram catados manualmente em lupa eletrônica e imageados em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Com auxílio das imagens foram feitas análises utilizando espectrômetro de massa LA-ICP-MC-MS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Multicollector Mass Spectrometer) para os métodos (U-Pb) e (Lu-Hf). As idades foram geradas a partir de diagramas concórdia para U-Pb e, através do indicador petrogenético ε_{Hf} , foram obtidas informações sobre a rocha fonte. Os resultados gerados por este trabalho corroboraram com idades descritas por outros autores para as litologias granito Pedra Branca e granito Favela. Além de contribuírem para a discussão existente em relação ao acamamento magmático formado pelas fácies Média-homogênea e Hololeucocrática. A idade gerada para a litologia tonalito foi mais jovem que a esperada, podendo ser explicada por uma má escolha de amostras, não sendo esta a melhor representação para a litologia em questão, ou pelos erros apresentados pelo método, porém não foi considerada uma idade inadequada. Uma associação entre a localização das amostras e as idades obtidas também foi feita, o que pode indicar diferentes pulsos magmáticos. A continuidade dos estudos na região se mostra importante a fim de contribuir com o entendimento da sua formação e evolução magmática e tectônica.

Palavras-chave: geocronologia; magmatismo; zircão; Maciço da Pedra Branca;

ABSTRACT

The Pedra Branca Complex (PBC) is located at the west region of Rio de Janeiro city. Tectonically it is insert in the Costeiro Domain, which is part of the central segment of Ribeira Belt. The lithologies that formed this rocky complex were generated by events related with the Brasiliano Orogeny (~600 Ma). The older rocks are constituted by pre-collisional and syn-collisional orthogneisses plus metasedimentary rocks. The origin of granitoid and mafic rocks are related to a late- to post-D3 stage with the main lithologies are been represented by Tachas tonalite and Grota Funda gabbro, respectively. Within a most recent magmatic event, late- to post-collisional, occurred the formation of Pedra Branca granite and Favela Granite. The Pedra Branca granite could be individualized in four different facies: Média-Homogênea, Bandada, Pegmatítica e Hololeucocrática. The purpose of this project was to generate ages and to obtain information about the magmatism, through geochronological methods (U-Pb) e (Lu-Hf), from ten samples of different regions of the complex and compare it with existing data in order to contribute to a better comprehension of it geological evolutive context. The samples represent three distinct lithologies: Tachas tonalite, Pedra Branca granite and Favela Granite. The samples passed through preparation process as cleaning, comminution, heavy metals separation and magnetic separation in order to collect the zircon grains. The zircon grains were collected manually, and images were made by Scanning Electron Microscopy (SEM). With the guidance of the images, the grains were analysed by Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Multicollector Mass Spectrometer (LA-ICP-MC-MS) to U-Pb and Lu-Hf methods. The ages were generated through concord diagram to U-Pb and, through the petrogenetic indicator ε_{Hf} , was possible to obtain information about the source rock of magma. The results support the existing ages found by others authors to Pedra Branca and Favela granites. Besides this, it also contributed to the existing discussion related to the origin of the magmatic layering formed by Media-Homogênea and Hololeucocratica facies. The age found to the tonalite is younger than was expected, which could be explained by the sample collected itself, that could not be the best representation of the tonalito lithology or by the errors that the method presents, however it was not considered an inappropriate age. An association between the samples location's and their ages was also made, which could indicate different magmatic pulses. The continuous development of research in this region proves important in order to increase the understanding related it's magmatic and tectonic formation and evolution.

Keywords: geochronology, magmatism, zircon, Pedra Branca Massif;

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Índice Geral	IV
Índice de Figuras	V
Índice de Tabelas	VIII
Parte 1 – Introdução	1
1.1 – Apresentação	1
1.2 – Objetivo	1
1.3 – Localização	2
1.4 – Materiais e Métodos	3
1.4.1 – Revisão Bibliográfica	3
1.4.2 – Aquisição de Dados	3
1.4.3 – Preparação de Amostras	5
1.4.4 – Procedimento Analítico	9
1.4.4.1 – Zircões	9
1.4.4.2 – Análise Geocronológica	9
Parte 2 – Revisão Temática	11
2.1 – Radioatividade	11
2.2 – Método U-Th-Pb	13
2.3 – Método Lu-Hf	15
Parte 3 – Geologia Regional	17
Parte 4 – Geologia Local	21
4.1 – Metamorfismo	28
4.2 – Estruturação	29
Parte 5 – Resultados	30
5.1 – U-Pb	31
5.1.1 – Granito Pedra Branca	31
5.1.1.1 – Fácies Média-Homogênea	31
5.1.1.2 – Fácies Bandada	38
5.1.1.3 – Fácies Hololeucocrática	42
5.1.2 – Granito Favela	46
5.1.3 – Tonalito Tachas	50
5.2 – Lu-Hf	52
Parte 6 – Discussão e Conclusão	56
Parte 7 – Referências Bibliográficas	59

Índice de Figuras

Figura	Legenda	Página
Figura 1	Maciço da Pedra Branca delimitado em vermelho. Imagem adaptada extraída via GeoSgb.	2
Figura 2	Maciço da Pedra Branca com destaque da localização de onde as amostras foram retiradas. Imagem adaptada extraída via GeoSgb.	3
Figura 3	Resumo dos processos de preparação de amostras realizados no LGPA e MULTILAB/UERJ.	6
Figura 4	Parte da preparação de amostras realizada no LGPA – UERJ. a) Marreta de mão (britagem manual. b) Moinho britador. c) Moinho de discos. d) Mesa vibratória.	6
Figura 5	Parte da preparação de amostras realizada no LGPA - UERJ (a e b) e no MULTILAB – UERJ (c e d). a) Separação por líquidos densos. b) Separador Frantz. c) Lupa para catação manual dos grãos e montagem da resina epóxy. d) MEV para imageamento dos grãos de zircão.	7
Figura 6	Resumo dos processos que ocorrem na técnica do ICP-MS-LA.	10
Figura 7	Simplificação do processo de decaimento dos isótopos ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th .	13
Figura 8	Exemplo de Diagrama concórdia onde os pontos analíticos acima da curva concórdia se referem às idades concordantes e os sobre a curva discórdia às discordantes. Retirado de Kei Sato <i>et al.</i> 2008.	14
Figura 9	Mapa tectônico do segmento central da Faixa Ribeira. Heilbron <i>et al.</i> 2000 <i>apud</i> Porto Jr. 2004.	17
Figura 10	1a: Subdivisões tectônicas do Brasil, mostrando os blocos cratônicos (1), cinturões Neoproterozoicos/Cambrianos (2), e as principais bacias intracratônicas fanerozoicas (3) adaptados de Almeida <i>et al.</i> , 2000 <i>apud</i> Heilbron & Machado, 2003. 1b: Principais unidades tectônicas e terrenos do sudeste do Brasil adaptado de Heilbron <i>et al.</i> (1995, 2000a) e Trouw <i>et al.</i> (2000) <i>apud</i> Heilbron & Machado (2003). Retirado de Heilbron & Machado (2003).	18
Figura 11	Mapa geológico do Complexo da Pedra Branca modificado de Porto Jr (1993) e (2004) retirado de Mello <i>et al.</i> , (2009) <i>apud</i> Pereira (2010).	21
Figura 12	Tonalito Tachas. a) Amostra de mão utilizada para confecção deste trabalho. b) e c) Tonalito visualizado sob microscopia óptica.	23
Figura 13	a) Amostra de mão representante da fácies média-homogênea utilizada para realização deste trabalho. b) e c) Aspecto geral desta fácies via microscopia óptica.	24
Figura 14	a) amostra de mão representante da fácies bandada do granito Pedra Branca. b) Microscopia ótica referente à mesma faciologia	25

Figura 15	Fácies pegmatítica em afloramento	25
Figura 16	a) amostra de mão representativa da fácies Hololeucocrática do granito Pedra Branca. b) e c) Microscopia óptica das mesmas	27
Figura 17	a) Amostra de mão referente ao granito Favela. b) Aspecto geral do granito Favela via microscopia óptica.	28
Figura 18	Resina epóxi contendo os grupos referentes às amostras AM 02, AM 05, AM 06, AM 08 e AM 10.	30
Figura 19	Resina epóxi contendo os grupos referentes às amostras AM 01, AM 03, AM 04, AM 07 e AM 09	31
Figura 20	Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 03 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.	32
Figura 21	Diagrama concórdia para a amostra AM 03, indicando idade 515 +/- 7 Ma, MSWD = 0,0109 e probabilidade de concordância.	33
Figura 22	Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 06 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.	34
Figura 23	Diagrama concórdia para a amostra AM 06, indicando idade 503 +/- 5 Ma, MSWD = 1,3 e probabilidade de concordância de 0,26.	35
Figura 24	Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 10 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.	36
Figura 25	Diagrama concórdia para a amostra AM 10, indicando idade 505 +/- 7 Ma, MSWD = 0,77 e probabilidade de concordância de 0,38.	37
Figura 26	Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 04 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.	38
Figura 27	Diagrama concórdia para a amostra AM 04, indicando idade 516 +/- 8 Ma, MSWD = 0,79 e probabilidade de concordância de 0,37.	39
Figura 28	Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 05 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.	40
Figura 29	Diagrama concórdia para a amostra AM 05, indicando idade 497 +/- 4 Ma, MSWD = 0,00067 e probabilidade de concordância de 0,98.	41
Figura 30	Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 01 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.	42
Figura 31	Diagrama concórdia para a amostra AM 01, indicando idade 508 +/- 6 Ma, MSWD = 1,7 e probabilidade de concordância de 0,20.	43

Figura 32	Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 08 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.	44
Figura 33	Diagrama concórdia inversa para a amostra AM 08, indicando idade 504 Ma.	45
Figura 34	Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 07 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.	46
Figura 35	Diagrama concórdia para a amostra AM 07, indicando idade 501 +/- 4 Ma, MSWD = 0,13 e probabilidade de concordância = 0,71.	47
Figura 36	Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 09 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.	48
Figura 37	Diagrama concórdia para a amostra AM 09, indicando idade 486 +/- 8 Ma, MSWD = 0,16 e concordância de 0,69.	49
Figura 38	Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 02 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.	50
Figura 39	Diagrama concórdia para a amostra AM 02, indicando idade 498 +/- 7 Ma, MSWD = 0,097 e probabilidade de concordância de 0,76.	51
Figura 40	Diagrama indicando os valores encontrados de ϵHf (eixo y) e idades U-Pb (eixo x) para a amostra AM 02.	52
Figura 41	Diagrama indicando os valores encontrados de ϵHf (eixo y) e idades U-Pb (eixo x) para a amostra AM 05.	53
Figura 42	Diagrama indicando os valores encontrados de ϵHf (eixo y) e idades U-Pb (eixo x) para a amostra AM 06.	53
Figura 43	Diagrama indicando os valores encontrados de ϵHf (eixo y) e idades U-Pb (eixo x) para a amostra AM 08.	54
Figura 44	Diagrama indicando os valores encontrados de ϵHf (eixo y) e idades U-Pb (eixo x) para a amostra AM 10.	54
Figura 45	Diagrama indicando os valores encontrados de ϵHf (eixo Y) e idades U-Pb (eixo X) para todas as amostras analisadas para o método Lu-Hf.	55
Figura 46	a) Padrão estrutural do acamamento magmático entre as fácies Média-Homogênea (mais félsica) e Hololeucocrática (mais máfica). b) Acamamento e interdigitação entre as mesmas. Procedência: Pedreira EMASA, Jabour, Bangu, Rio de Janeiro (Retirado de Porto Jr <i>et al.</i> , 2018).	57
Figura 47	Diagrama relacionando as idades U-Pb encontradas para o granito Pedra Branca. Notar intercalação das fácies Hololeucocrática e média-homogênea.	58

Índice de Tabelas

Tabela	Legenda	Página
Tabela 1	Identificação de cada amostra.	4
Tabela 2	Valores de amperagem utilizados no Frantz Inicial	8
Tabela 3	Valores de Inclinação Lateral no Frantz Final	8
Tabela 4	Elementos radioativos e suas respectivas constantes de desintegração	12
Tabela 5	Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 03	33
Tabela 6	Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 06.	35
Tabela 7	Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 10.	37
Tabela 8	Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 04.	39
Tabela 9	Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 05.	41
Tabela 10	Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 01.	43
Tabela 11	Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 08.	45
Tabela 12	Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 07.	47
Tabela 13	Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 09.	49
Tabela 14	Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 02.	51
Tabela 15	Idades obtidas pelo método U-Pb e suas respectivas litologias, fácies e setores.	56

1 – Introdução

1.1. Apresentação

O termo geocronologia foi utilizado pela primeira vez por Williams (1893) para tentar unir todas as diversas formas de investigação da escala do tempo (Carneiro *et al.*, 2005). Durante o séculos XVI e XVII houveram muitas tentativas a fim de estimar a idade da terra, porém as idades geradas não passavam de 100 milhões de anos e não corroboravam com o que dizia a então nova teoria da origem das espécies, defendida por Charles Darwin (1809-1882), que acreditava que seria necessário um longo período de estabilidade para a evolução gradual das espécies e então o resultado encontrado pelos cientistas da época não seria suficiente para que isto ocorresse (Martins & Babinsky, 2018).

Atualmente dois métodos podem ser utilizados para identificar a idade de uma rocha: o relativo e o absoluto. O método relativo utiliza a relação temporal entre as camadas geológicas, baseada nos princípios estratigráficos de Steno (1669) e Hutton (1775) *apud* Martins & Babinsky (2018). Enquanto que o método absoluto utiliza os princípios físicos relacionados à radioatividade, relativos ao decaimento radioativo, gerando idades mais precisas para as rochas (Martins e Babinsky, 2018). Neste contexto, muitos são os elementos e métodos utilizados, como Sm-Nd, Rb-Sr, U-Pb, Lu-Hf, etc. Os métodos U-Pb e Lu-Hf foram os utilizados neste trabalho para a obtenção das idades.

Desta forma, a datação geocronológica será de fundamental importância para ampliar o conhecimento sobre o Complexo da Pedra Branca, localizado na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro e objeto de estudo deste trabalho. Formado por rochas metamórficas orto e para-derivadas, mais antigas, além de granitoides com idade mais recente, é uma importante formação geológica da cidade e seus estudos podem contribuir para uma maior compreensão da geologia regional que este está inserido, além do incremento de informações acerca da origem do magmatismo que o gerou.

1.2. Objetivo

O objetivo deste trabalho consiste em aplicar os métodos geocronológicos U-Pb e Lu-Hf em grãos de zircão provenientes de rochas pertencentes ao Complexo da Pedra Branca, localizado dentro dos limites do município do Rio de Janeiro, afim de obter idades para as mesmas e informações a respeito do magmatismo que as gerou, e, em associação aos dados já existentes, contribuir para a compreensão de seu contexto geológico evolutivo.

1.3. Localização

O Complexo Pedra Branca (CPB) se confunde com a feição fisiográfica Maciço da Pedra Branca (**Figura 1**). O Complexo, possui aproximadamente 160 km² e está localizado na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro. Em seus limites ocorrem ao norte os bairros de Bangu, Campo Grande, Padre Miguel e Sulacap, à leste a região de Jacarepaguá, Curicica e Taquara, à oeste Sepetiba e Guaratiba e ao sul Recreio dos Bandeirantes, Barra da Tijuca, Vargem Grande e Vargem Pequena.

Por ser uma região urbanizada, os acessos para o CPB são facilitados por uma ampla malha viária, sendo as principais vias de acesso a Estrada dos Bandeirantes, Avenida Santa Cruz, Estrada Paiva Muniz, Avenida Estado da Guanabara e Estrada do Pontal.

As dez amostras que foram analisadas neste trabalho foram retiradas de diferentes áreas do Complexo (**Figura 2**): na vertente norte, amostras 4 e 8, retiradas da Pedreira Jabour e amostras 3 e 7 amostradas na Pedreira Bangu. A oeste, amostra 2, amostrada na Estrada das Tachas. Na vertente sul as amostras 1 e 5 referem-se à Pedreira Ibrata, amostras 9 e 10 à Estrada do Pontal e a amostra 6 foi coletada na Estrada da Guanabara.



Figura 1: Maciço da Pedra Branca delimitado em vermelho. Imagem adaptada extraída via GeoSgb.

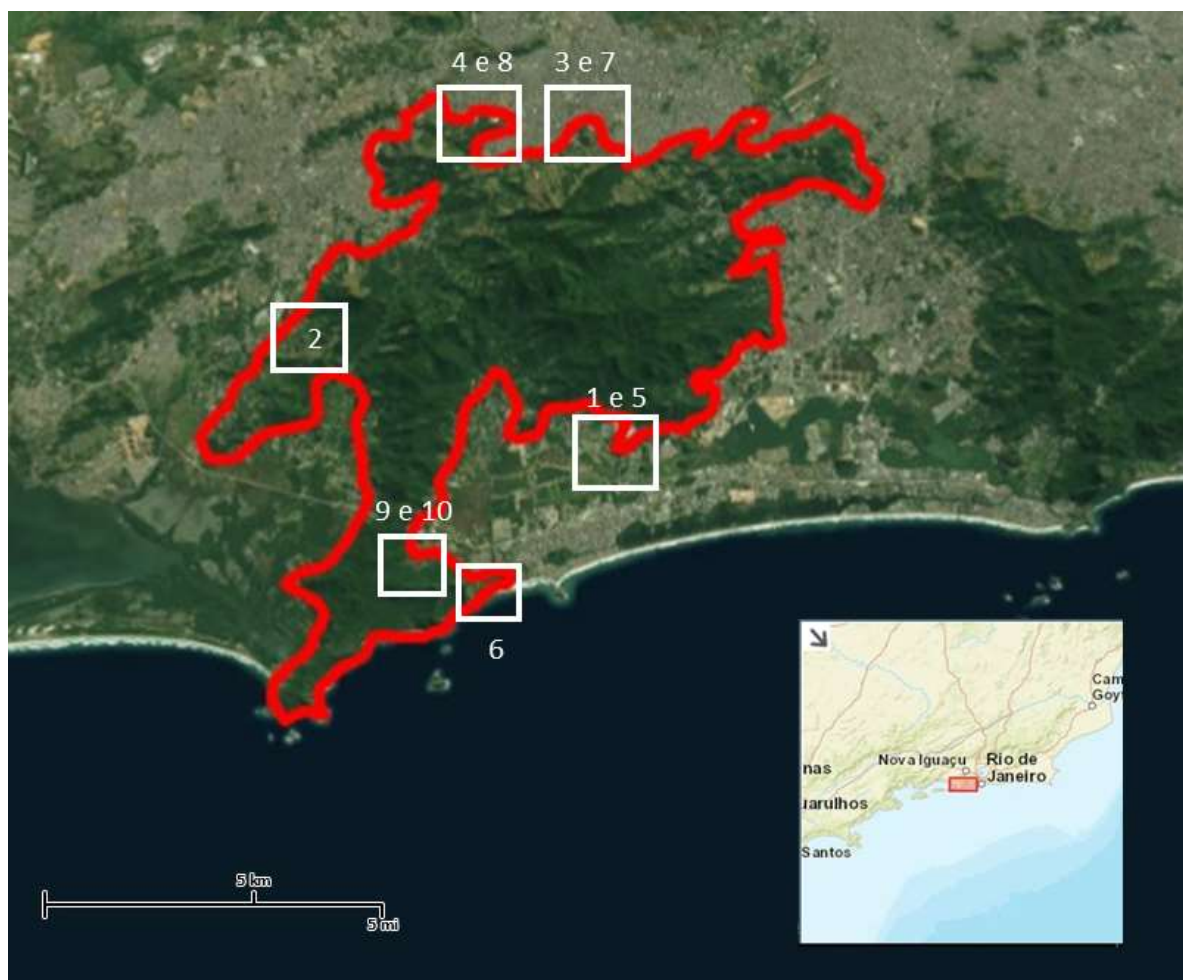


Figura 2: Maciço da Pedra Branca com destaque da localização de onde as amostras foram retiradas. Imagem adaptada extraída via GeoSgb.

1.4. Materiais e Métodos

1.4.1. Revisão bibliográfica

Para a realização deste trabalho foi feito, inicialmente, um levantamento bibliográfico afim de se obter informações sobre aspectos geológicos da área em seus vários campos. Tal conjunto de informações dará sustentação à interpretação dos dados gerados nesta pesquisa. Em outro nível, foram pesquisadas informações referentes à metodologia de obtenção e interpretação de dados geocronológicos, o que permitirá que seja realizado uma boa caracterização sobre os métodos geocronológicos U-Pb e Lu-Hf, permitindo seu uso nas interpretações a serem realizadas.

1.4.2. Aquisição de dados

As amostras analisadas neste estudo foram coletadas a partir de diversos trabalhos de campo associados ao estudo da Petrogênese do Complexo Pedra Branca realizado através de vários projetos de pesquisa desenvolvidos no Departamento de Petrologia e Geotectônica da UFRuralRJ sob a coordenação do Dr. Rubem Porto Jr.

As amostras escolhidas para o estudo, pertencem a três diferentes grupos litológicos: granito Pedra Branca, granito Favela e tonalito Tachas conforme Porto Jr. (1994)

A **Tabela 1** sumariza a numeração, litologia, fácies e localização das amostras.

Tabela 1: Identificação de cada amostra.

Amostra	Litologia	Faciologia	Local amostrado	Setor do Maciço
AM 1	<i>Granito Pedra Branca</i>	<i>Fc. Hololeucocrática</i>	<i>Pedreira IBRATA</i>	<i>Sul</i>
AM 2	<i>Tonalito Tachas</i>	---	<i>Estrada das Tachas</i>	<i>Oeste</i>
AM 3	<i>Granito Pedra Branca</i>	<i>Fac. Homogênea</i>	<i>Pedreira Bangu</i>	<i>Norte</i>
AM 4	<i>Granito Pedra Branca</i>	<i>Fac. Bandada</i>	<i>Pedreira Jabour</i>	<i>Norte</i>
AM 5	<i>Granito Pedra Branca</i>	<i>Fac. Bandada</i>	<i>Pedreira IBRATA</i>	<i>Sul</i>
AM 6	<i>Granito Pedra Branca</i>	<i>Fac. Homogênea</i>	<i>Av. Estado da Guanabara</i>	<i>Sul</i>
AM 7	<i>Granito Favela</i>	---	<i>Pedreira Bangu</i>	<i>Norte</i>
Am 8	<i>Granito Pedra Branca</i>	<i>Fc. Hololeucocrática</i>	<i>Pedreira Jabour</i>	<i>Norte</i>
AM 9	<i>Granito Favela</i>	---	<i>Estrada do Pontal</i>	<i>Sul</i>
AM 10	<i>Granito Pedra Branca</i>	<i>Fc. Homogênea</i>	<i>Estrada do Pontal</i>	<i>Sul</i>

1.4.3. Preparação de amostras

O processo de preparação das amostras a serem analisadas teve início a partir da limpeza das amostras. Elas foram lavadas e secas a fim de evitar a contaminação durante a análise. Em seguida, as amostras passaram por um processo de cominuição, que teve início com a britagem manual (**Figura 4a**) realizada por uma marreta de mão. Posteriormente a esta etapa, as amostras foram fragmentadas em moinho britador (fração 5 mm) (**Figura 4b**) e moinho de disco (fração 80 e 200 *mesh*) (**Figura 4c**).

A partir deste momento iniciaram-se os procedimentos para que fossem obtidos os concentrados de minerais pesados. Isso foi realizado, primeiramente, a partir do uso de bateia e da mesa vibratória (**Figura 4d**) e foi finalizado com a utilização de líquidos densos (**Figura 5a**), onde, então, os fragmentos de rocha foram colocados em contato com uma solução de bromofórmio, fazendo com que o material pesado, onde o zircão se concentra, se deposita-se no fundo do recipiente e os leves flutuassem, sendo separados e posteriormente descartados. As amostras que apresentaram quantidades significativas de apatita após este processo (AM 01, AM 02, AM 04, AM 07 E AM 08) passaram novamente pelo método, só que utilizando de solução de iodeto de metileno para separação dos grãos de zircão.

A última etapa deste processo de separação do material a ser estudado, consistiu na separação dos minerais de acordo com a suscetibilidade magnética de cada um. Isto foi feito com a utilização do Separador Eletromagnético de Frantz (**Figura 5b**). Esta etapa foi realizada de duas formas: Frantz Inicial, que retirou os minerais que não são de interesse e concentra os zircões ao final do processo e Frantz Final, que separou os zircões coletados anteriormente de acordo com a suscetibilidade dos grãos.

Para o Frantz Inicial a regulação do aparelho consiste em inclinação lateral de 10°, frontal variando de 2° a 5° e a amperagem do aparelho variando de acordo com a **Tabela 2**.

Para o Frantz Final, a amperagem de 1,5 Hz é mantida fixa durante todo o processo, a inclinação frontal varia de 2° a 5° e a lateral varia de -0,5° a 5°, exemplificada na **Tabela 3**.

A **Figura 3** resume os processos citados anteriormente.

Todos estes procedimentos foram realizados no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Após a etapa inicial de preparação, os grãos de zircão coletados foram levados ao MULTILAB/UERJ onde foi feita a seleção manual dos grãos a partir de visualização em lupa eletrônica (modelo Leica M205 C) (**Figura 5c**)

Os grãos escolhidos foram posicionados em grupos e adicionados a uma resina epóxi, que é polida e imageada através do Microscópio Eletrônico de Varredura (Quanta 250 da marca FEI) (**Figura 5d**).

Em posse destas imagens foi, então, possível fazer a análise dos grãos no espectrômetro de massa LA-ICP-MS (modelo NEPTUNE Plus da marca Finnigan), para a obtenção dos dados analíticos para os métodos geocronológicos U-Pb e Lu-Hf.

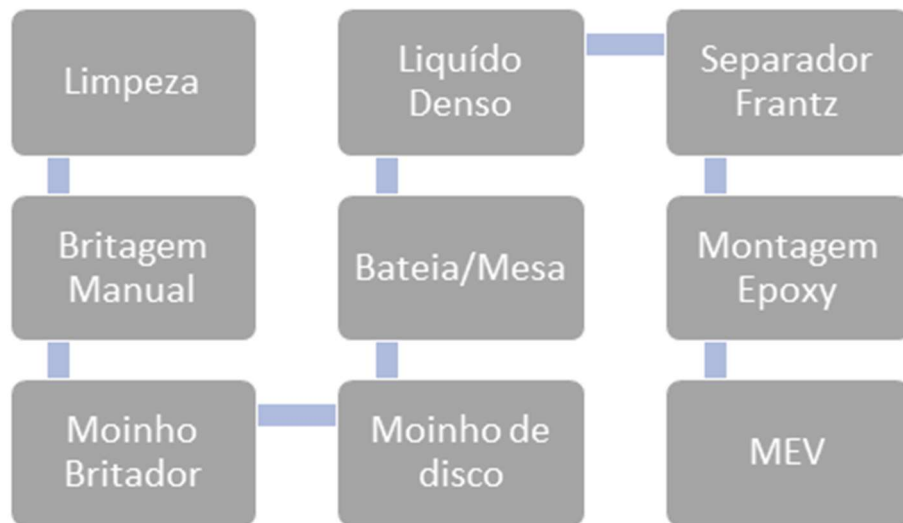


Figura 3: Resumo dos processos de preparação de amostras realizados no LGPA e MULTILAB/UERJ.

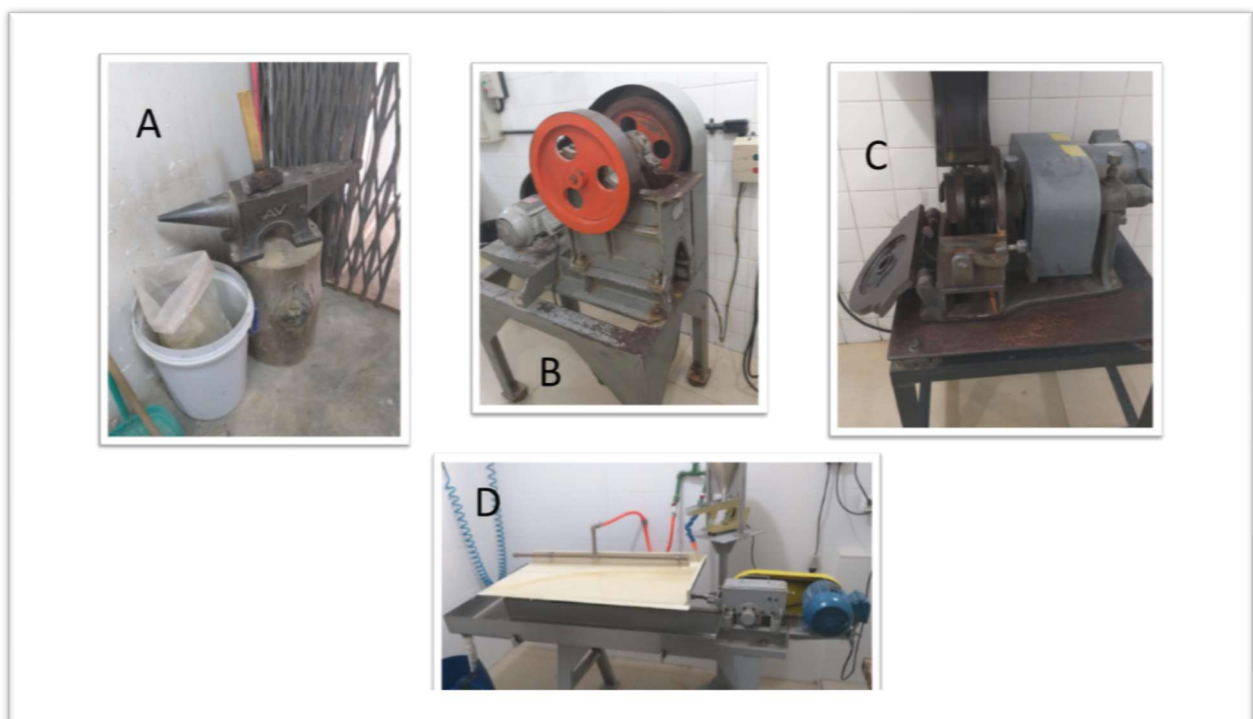


Figura 4: Parte da preparação de amostras realizada no LGPA – UERJ. a) Marreta de mão (britagem manual). b) Moinho britador. c) Moinho de discos. d) Mesa vibratória.

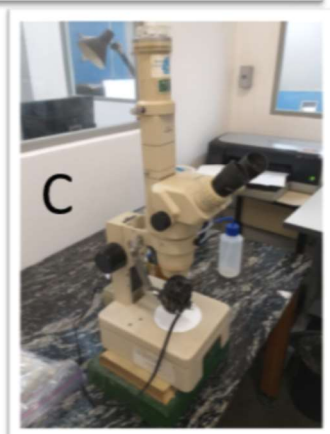
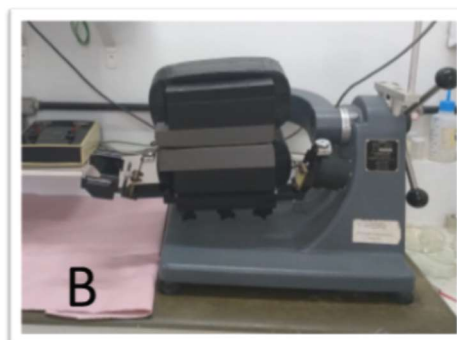
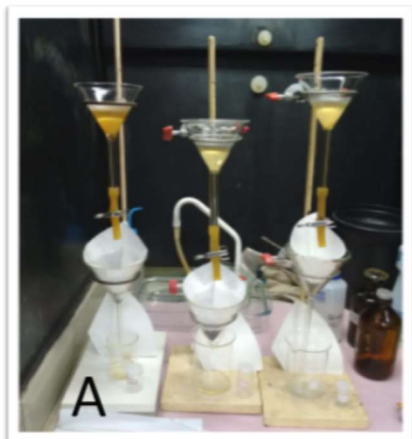


Figura 5: Parte da preparação de amostras realizada no LGPA - UERJ (a e b) e no MULTILAB – UERJ (c e d). a) Separação por líquidos densos. b) Separador Frantz. c) Lupa para catação manual dos grãos e montagem da resina epóxi. d) MEV para imageamento dos grãos de zircão.

Tabela 2: Valores de amperagem utilizados no Frantz Inicial.

Amperagem	Mineral
0,1	Ilmenita
0,2*	Granada
0,4	Monazita
0,5*	Titanita (Monazita)
0,75*	Titanita
1,0*	Rutilo
1,5*	Rutilo

Tabela 3: Valores de Inclinação Lateral no Frantz Final.

Inclinação Lateral
5°
3°
1°
0°
-0,5°
Não atraível

*Amperagens que foram utilizadas durante o processo.

1.4.4 Procedimento analítico

Os cristais de zircão foram escolhidos a partir das imagens geradas pelo MEV e o tiro a laser foi dado nos grãos que não possuíam inclusões e/ou fraturas.

O espectrômetro utilizado foi o LA-ICP-MC-MS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Multicollector Mass Spectrometer) e todo o procedimento foi realizado no MULTILAB/UERJ.

1.4.4.1 Zircões

O zircão é um mineral do grupo dos ortossilicatos (ZrSiO_4) e possui usualmente sistema cristalográfico tetragonal. Devido a sua grande distribuição em diversos tipos de rocha ele é comumente utilizado na geocronologia U-Pb e Lu-Hf (Geraldes, 2010).

Em relação ao método U-Pb, este apresenta vantagem em relação a outros minerais devido ao fato de aceitar a entrada de U no lugar do Zr em seu retículo cristalino com facilidade e não aceitar a entrada de Pb comum, o que leva a interpretação de que todo o Pb encontrado no grão é radiogênico, sendo resultado do decaimento de U e Th. Além do fato de ser uma fase mineral resistente ao intemperismo, o que evita perda de Pb ao longo do tempo (Dinis *et al.*, 2014).

O zircão também apresenta grande quantidade de Hf. Como caracteristicamente apresenta baixas razões Lu/Hf, isso permite uma aplicação facilitada para o método Lu/Hf devido a não necessidade de correções para o decaimento de ^{176}Lu desde a época inicial de cristalização (Geraldes, 2010).

A escolha dos grãos mostra-se importante para a obtenção de bons resultados nos dois métodos, sendo necessário escolher cristais que não apresentem fraturas, inclusões ou ausência de cor. Através das imagens geradas pelo MEV é possível fazer esta escolha criteriosa (Geraldes, 2010).

1.4.4.2 Análise Geocronológica

O espectrômetro de massa teve seu desenvolvimento iniciado devido a descoberta da radioatividade no final do século XIX. É a principal ferramenta que vem sendo amplamente utilizada na obtenção de dados geocronológicos. Esses são aparelhos capazes de analisar substâncias ou elementos no vácuo, a partir da relação massa sobre carga eletrônica (m/e) juntamente com ação de campos elétricos e magnéticos (Geraldes, 2010).

A primeira parte do espectrômetro utilizado consiste em um laser (LA) que irá volatilizar a amostra e leva-la até o plasma induzido (ICP). Com este procedimento, a amostra sofrerá um processo de ionização quando em contato com o plasma, que é um gás (normalmente argônio e hélio em diferentes proporções) aquecido eletricamente, e que atinge temperaturas de 8000K. Estes íons então, são levados então ao espectrômetro de massa (MS), que opera no vácuo, onde a

amostra, agora ionizada, será separada de acordo com suas massas e lida por detectores (MC) (Longerich, 2008). Os detectores podem ser do tipo Faraday, Daly ou multiplicadores de elétrons (Geraldes, 2010). A **Figura 6** sumariza estes processos.

As vantagens deste método, em relação ao sistema convencional onde um método químico é utilizado para a abertura da amostra a ser analisada, se dão pela não necessidade de um laboratório químico com altas exigências de limpeza, na agilidade com que os resultados são obtidos e na possibilidade de efetuar análises localizadas, tornando possível a obtenção de informações de eventos geológicos adicionais registrados pelo grão (Sato & Kawashita, 2002).

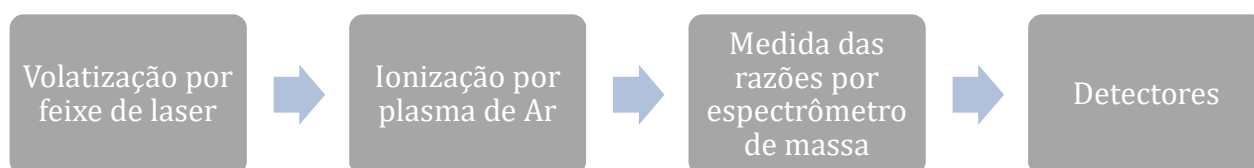


Figura 6: Resumo dos processos que ocorrem na técnica do ICP-MS-LA.

2 – Revisão Temática

2.1. Radioatividade

Foi Williams (1893) *apud* Carneiro *et al.* (2005) quem utilizou pela primeira vez o termo Geocronologia com o objetivo de unir todas as diferentes formas de investigação da escala de tempo em anos que se aplicam, tanto a evolução da terra, como também à evolução de todas as formas de vida (Carneiro *et al.*, 2005). O que só foi possível graças a descoberta da radioatividade, através da datação radiométrica, que é o único processo que ocorre a uma taxa estatisticamente previsível e estável (Carneiro *et al.*, 2005).

A denominação da radioatividade deve-se a Marie e Pierre Curie (1898) (Geraldles, 2010), que inspirados pela descoberta de Becquerel, que demonstrou que sais de urânio poderiam emitir radiação contínua mesmo quando não expostos a luz solar, procuraram sistematicamente outros elementos semelhantes aos de Becquerel que emitissem radiação parecida e assim, descobriram que os minerais de U e Th, assim como Becquerel suspeitava, também emitiam radiação, assim como os elementos Polônio e Rádio, que renderam ao casal o prêmio Nobel de física em 1903 (Carneiro *et al.*, 2005).

A definição de radioatividade se dá como a mudança nuclear espontânea, que ocorre através da emissão de radiações eletromagnéticas ou partículas e ocasionam a transformação de um nuclídeo em outro (Geraldles, 2010). Esta transformação sempre resulta em mudanças de prótons e nêutrons, mudando o átomo de um elemento em relação ao átomo de outro elemento. O novo átomo que é gerado é chamado radiogênico ou isótopo filho e o que dá origem a ele é chamado de isótopo radioativo ou isótopo pai (Geraldles, 2010).

A primeira datação geocronológica foi através do decaimento do rádio para hélio e foi realizada por Rutherford em 1905. Os avanços das pesquisas continuaram com a descoberta da radioatividade do Rubídio por J.J. Thompson em 1905 e em 1906 Campbell e Wood descobrem a do Potássio. Em 1907 Boltwood, a partir desta descoberta, apresenta uma aplicação do método U-Pb na determinação de idades absolutas. A. Homes, em 1913, apresenta outra importante contribuição à geocronologia através da sua publicação "*The Age of the Earth*", onde o autor estima a duração dos éons Fanerozoicos e do período Pré-Cambriano a partir da aplicação de três séries de decaimento dos actínídeos (Geraldles, 2010).

A partir destes estudos desenvolvidos por Rutherford e outros pesquisadores foi possível demonstrar que a radioatividade envolve a emissão de três tipos diferentes de raios denominados Alfa (α), Beta(β) e Gama(γ) (Geraldles, 2010). A emissão Alfa envolve a perda, pelo núcleo do átomo-pai, de dois prótons e dois nêutrons. O número de massa reduz de quatro e o número atômico de dois. Na emissão Beta um nêutron do núcleo se transforma em um próton e o número atômico aumenta de um, a partir da emissão feita pelo núcleo de um elétron em alta velocidade (Carneiro *et*

al., 2005). A emissão de radiações eletromagnéticas de comprimento de onda menor que $10^{-2}\text{\AA}$, de origem nuclear, caracterizam o decaimento Gama que, por não possuírem massa, são mais penetrantes e necessitam de blindagem para conter seus efeitos (Geraldes, 2010).

O tempo de desintegração da metade dos átomos pais radioativos de um sistema é chamado meia-vida. Cada nuclídeo radioativo possui uma meia-vida única e esta se relaciona à sua constante de desintegração. Quando um mineral se forma admite-se que este possui apenas o nuclídeo radioativo e então a razão filho/pai inicial é zero, indicando idade inicial também de zero. Sabendo-se então a constante de desintegração do pai radioativo, torna-se necessário medir a proporção de nuclídeos filhos e pais (N_0/N_t) a fim de calcular o tempo em que o sistema teve origem. Isto pode ser expresso segundo a **Equação 1**, que é chamada de equação fundamental da geocronologia:

$$\lambda t = \ln (N_0/N_t)$$

Onde: λ = constante de desintegração; N_0 = número de átomos do isótopo-filho no tempo zero; N_t = número de átomos do isótopo pai após o tempo t de desintegração $\ln$ = logaritmo natural (base 2,78) (Carneiro *et al.*, 2005). A Tabela 3 expressa os valores das constantes de desintegração de alguns nuclídeos radioativos.

A escolha dos pares de isótopos que definirá o método geocronológico a ser empregado depende de aspectos relacionados a compatibilidade da meia vida e o período de tempo do processo geológico que se pretende estudar, a presença de isótopos de interesse em concentrações em que seja possível a detecção e o desenvolvimento de processos laboratoriais para quantificar os isótopos escolhidos (Geraldes, 2010).

Tabela 4: Elementos radioativos e suas respectivas constantes de desintegração.

Nuclídeo Radioativo	Constante de desintegração
Potássio 40	$0,5821 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1}$
Rubídeo 87	$1,42 \times 10^{-11} \text{ anos}$
Samário 147	$0,654 \times 10^{-11} \text{ anos}^{-1}$
Lutécio 176	$1,98 \times 10^{-11} \text{ anos}^{-1}$
Urânio 235	$9,848 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1}$
Urânio 238	$1,551 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1}$
Tório 232	$4,947 \times 10^{-11} \text{ anos}^{-1}$

2.2. Método U-Th-Pb

Este método se baseia no decaimento do U (Urânio) e do Th (Tório) para os isótopos estáveis de Pb (Chumbo). O U apresenta três isótopos naturais e todos são radioativos: ^{238}U , ^{235}U e ^{234}U . O Th se apresenta de forma primária como ^{232}Th , mas existem 5 isótopos de Th, que possuem rápidas meias-vidas e são resultado do decaimento do ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th . Os isótopos de Pb estáveis formados pelo decaimento são ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb . O ^{204}Pb também é um isótopo estável natural, porém não é radiogênico e por possuir abundância constante desde o início da terra, é o que utilizado como isótopo de referência (Geraldes, 2010).

Os processos de decaimento dos isótopos ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th são os utilizados para fazer a datação segundo este método e todos possuem uma cadeia de decaimento que é formada por diversos elementos intermediários específicos e de vida curta, que não são contabilizados devido ao sistema ser considerado fechado (taxa de produção do isótopo estável ao final de cada processo é igual a taxa de decaimento do isótopo radioativo no início do processo) o que torna possível tratar o decaimento dos isótopos de U e Th como ocorrendo de forma direta para os isótopos estáveis de Pb (Geraldes, 2010). Isto é exemplificado na **Figura 7**, que também contém o número de partículas alfa e beta que são emitidas durante cada processo.

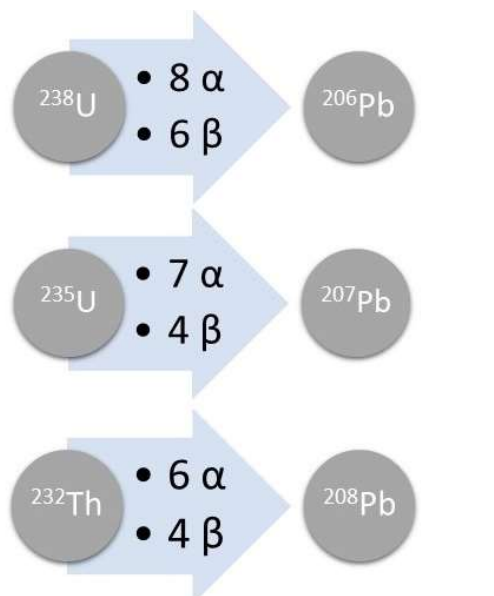


Figura 7: Simplificação do processo de decaimento dos isótopos ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th .

O sistema de datação U-Pb se mostra muito vantajoso para geocronologia devido (1) ao fato de ser o único a oferecer dois cronômetros radioativos independentes para um mesmo par de elementos (Kei Sato *et al.* 2008), (2) os valores de meias-vidas de ambos são apropriados para datação, (3) os dois sistemas de decaimento estão sempre conectados pois a razão $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ é constante (Steiger & Jager, 1977 *apud* Gehrels, 2012).

Utilizando-se da equação fundamental da geocronologia é possível caracterizar três equações para o método em questão e a partir delas torna-se possível a construção de isócronas que fornecem inclinações onde é possível calcular a idade de um grupo de amostra desde que estas tenham permanecido como sistemas fechados e suas razões isotópicas iniciais de Pb sejam idênticas (Geraldes, 2010):

$$\bullet \frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}(i) + \frac{^{238}\text{U}}{^{204}\text{Pb}} \left(e^{\lambda_1 t} - 1 \right) \quad \lambda_1 = 1,55125 \times 10^{-10}$$

$$\bullet \frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}(i) + \frac{^{235}\text{U}}{^{204}\text{Pb}} \left(e^{\lambda_2 t} - 1 \right) \quad \lambda_2 = 9,8485 \times 10^{-10}$$

$$\bullet \frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}(i) + \frac{^{238}\text{U}}{^{204}\text{Pb}} \left(e^{\lambda_3 t} - 1 \right) \quad \lambda_3 = 4,9475 \times 10^{-11}$$

Ahrens (1955) e Wetherill (1956) *apud* Geraldes (2010) conceituaram a curva “concordia” que é obtida através dos geocronômetros ^{238}U - ^{206}Pb e ^{235}U - ^{207}Pb e representa os pontos de idades concordantes. Por vezes as idades obtidas pelo método U-Th-Pb mostram-se não concordantes, o que pode ser explicado pelo fenômeno de perda ou ganho de Pb, U e Th ou dos isótopos intermediários que se formam em cada série de decaimento. Quando os valores não coincidem tem-se a curva discórdia e a idade original da cristalização pode ser obtida através do intercepto superior da discórdia com a concordia (Geraldes, 2010) (**Figura 8**).

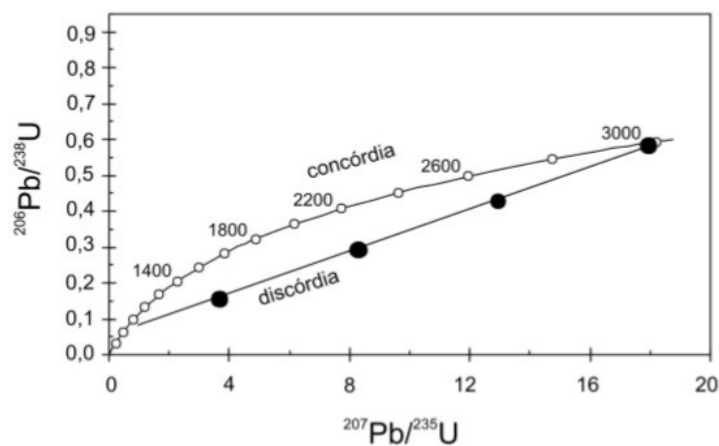


Figura 8: Exemplo de Diagrama concordia onde os pontos analíticos acima da curva concordia se referem às idades concordantes e os sobre a curva discórdia às discordantes. Retirado de Kei Sato *et al.* 2008.

2.3. Método Lu-Hf

Este método se baseia no processo de decaimento do isótopo ^{176}Lu para o isótopo estável ^{176}Hf , através da emissão de uma partícula Beta. A meia vida é estimada em aproximadamente 35 bilhões de anos (Kinny & Maas, 2003). O Lutécio (Lu), pertencente à família dos lantanídeos, possui dois isótopos: ^{175}Lu e ^{176}Lu e decai respectivamente para os elementos ^{176}Hf e ^{176}Yb . Este último se apresenta em quantidades muito pequenas que se tornam desprezíveis para os cálculos de idade. O Háfnio (Hf) pertence ao grupo IVB, constitui elemento de elevado potencial iônico e possui 6 isótopos naturais: ^{174}Hf , ^{176}Hf , ^{177}Hf , ^{178}Hf , ^{179}Hf e ^{180}Hf .

A concentração de Lu em um grão de zircão é baixa (valores menores que 0,002) tornando a razão $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ como o valor inicial que ele foi cristalizado. A Equação fundamental da geocronologia para este método, considerando um sistema fechado, é dada por:

$$\frac{^{176}\text{Hf}}{^{177}\text{Hf}} = \frac{^{176}\text{Hf}}{^{177}\text{Hf}}(i) + \frac{^{176}\text{Lu}}{^{177}\text{Hf}}(e^{\lambda t} - 1)$$

Cálculos recentes indicam o valor de $\lambda = 1,867 \pm 0,07 \times 10^{-11}$ (Scherer *et al.*, 2001 *apud* Geraldès 2010).

Este é um importante método pois ele pode traçar a história da diferenciação química da terra (crosta e manto) devido ao fato do decaimento de Lu para Hf ocorrer durante a geração do magma (Kinny & Maas, 2003). Além disso, este método também possibilita estabelecer um indicador petrogenético chamado de εHf . Este é baseado no comportamento geoquímico dos elementos Lu e Hf. O Hf, em relação ao Lu, é mais concentrado no líquido silicático durante a fusão parcial do manto, então os magmas basálticos derivados do manto tem razões Lu/Hf mais baixas que a da rocha fonte e consequentemente, o sólido residual se torna empobrecido em Hf e tem razão Lu/Hf maior que a rocha antes da diferenciação. Sendo assim, comparando a razão $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ da amostra estudada referente a época de sua formação ou de seu valor atual com o reservatório condritico uniforme padrão se torna possível identificar a fonte (manto ou crosta). Se a razão $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ encontrada for mais elevada que o condrito, então o εHf será positivo, indicando que a fonte é o manto. Se a razão for menor, o εHf será negativo, indicando que o magma possui origem crustal (**Equação 2**) (Bertotti *et al.*, 2013).

Equação 2:

$$\varepsilon_{Hf} = \left[\frac{\left(\frac{^{176}\text{Hf}}{^{177}\text{Hf}} \right)^t}{\left(\frac{^{176}\text{Hf}}{^{177}\text{Hf}} \right)_{CHUR}^t} - 1 \right] \times 10^4$$

Levando-se em conta que o manto sofre episódios de fracionamento para formação de crosta continental, este sofre empobrecimento de elementos leves em seu reservatório (Nebel *et al.*, 2007 *apud* Bertotti *et al.*, 2013), tornando o manto residual enriquecido na razão Lu/Hf e empobrecido no elemento Hf. A partir da **Equação 3**, é possível medir a idade deste “manto empobrecido” (DM-Depleted Mantle), que é conhecida como Idade Modelo (T_{DM}). Esta equação utiliza os valores 0,28325 e 0,0388 para as razões $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ e $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$, segundo Andersen *et al.*, 2009 e é baseada na composição isotópica inicial de Hf no momento de cristalização do zircão e da razão Lu/Hf da crosta precursora, independentemente de sua composição (máfica ou félsica) (Pietranik *et al.*, 2008 *apud* Bertotti *et al.*, 2013).

Equação 3:

$$T_{DM} = \frac{t_{U/Pb}}{1000} + \frac{1}{0,01867} \times \ln \left(1 + \frac{\left(\frac{^{176}\text{Hf}}{^{177}\text{Hf}} \right)^t - \left(\frac{^{176}\text{Hf}}{^{177}\text{Hf}} \right)_{DM}^t}{\left(\frac{^{176}\text{Lu}}{^{177}\text{Hf}} \right)_{CROSTA} - \left(\frac{^{176}\text{Lu}}{^{177}\text{Hf}} \right)_{DM}^0} \right)$$

Utilizando os métodos U-Th-Pb e Lu-Hf em conjunto é possível obter a idade de cristalização e a idade de residência crustal (Geraldes, 2010), portanto é importante que as análises de U-Pb e Lu-Hf sejam efetuadas sobre a mesma porção de um grão de zircão, a fim de recalcular o ε_{Hf} e a idade T_{DM} do momento de sua cristalização (Bertotti *et al.*, 2013).

3 – Geologia Regional

A área de estudo está inserida no contexto geológico da evolução do Segmento Central da Faixa Ribeira (**Figura 9**), que corresponde parcialmente ao Cinturão Móvel Ribeira (Almeida *et al.*, 1973) ou a porção central da Província Mantiqueira (Hasui & Oliveira, 1984). A Faixa Ribeira (Cordani *et al.*, 1973; Almeida *et al.*, 1973 *apud* Heilbron, 1995) é formada por um complexo cinturão de dobramentos e empurrões, que foi formado no Neoproterozoico/Cambriano, no contexto da Orogênese Brasileira, na área corresponde a borda sul/sudeste do Cráton São Francisco (Barbosa 1996, Almeida 1969, 1977 *apud* Heilbron 1995).

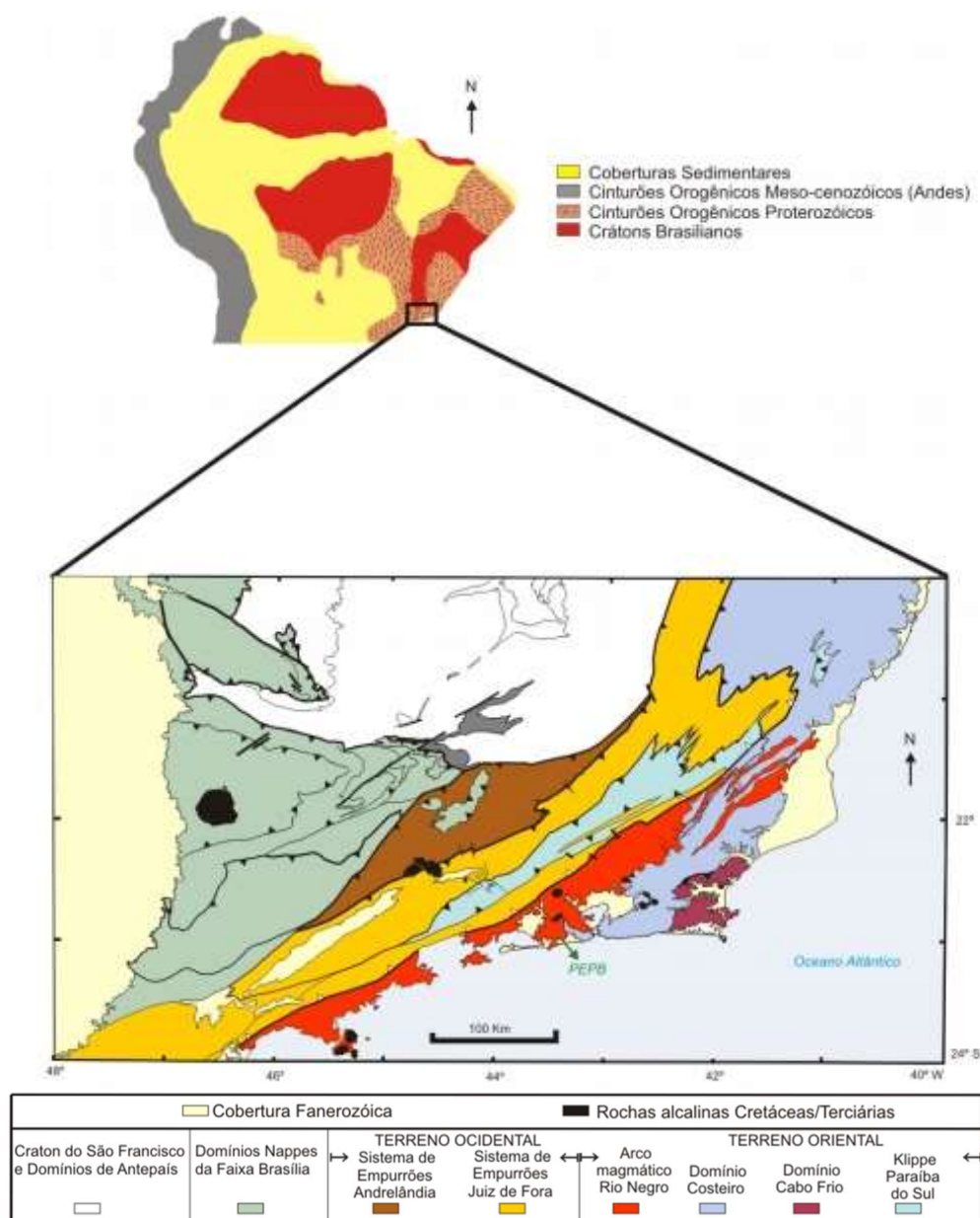


Figura 9: Mapa tectônico do segmento central da Faixa Ribeira. Heilbron *et al.*, 2000 *apud* Porto Jr. 2004

A compartimentação da Faixa (**Figura 10**) é dada por quatro terrenos tectono-estratigráficos: Ocidental, que corresponde à margem retrabalhada do Cráton São Francisco, Terreno Paraíba do Sul, Terreno Oriental e Terreno Cabo Frio. (Heilbron *et al.* 2000, 2004a; Trouw *et al.* 2000 *apud* Tupinambá *et al.*, 2007). Estes estão imbricados em direção ao Cráton São Francisco, no sentido NW/W. A junção dos três primeiros se deu entre 605 e 580 Ma (Heilbron & Machado, 2003) enquanto a do último se deu posteriormente, no período Cambriano (Schmitt *et al.*, 2004). Todos estes terrenos e seus respectivos domínios estruturais encontram-se separados por relevantes zonas de cisalhamento dúcteis que apresentam componente inverso e transpressivo dextral, que tem sua origem relacionada à deformação principal, referentes à D1 + D2 (Heilbron 1993; Heilbron *et al.* 1998, 2000, 2004a; Almeida 2000 *apud* Tupinambá *et al.*, 2007).

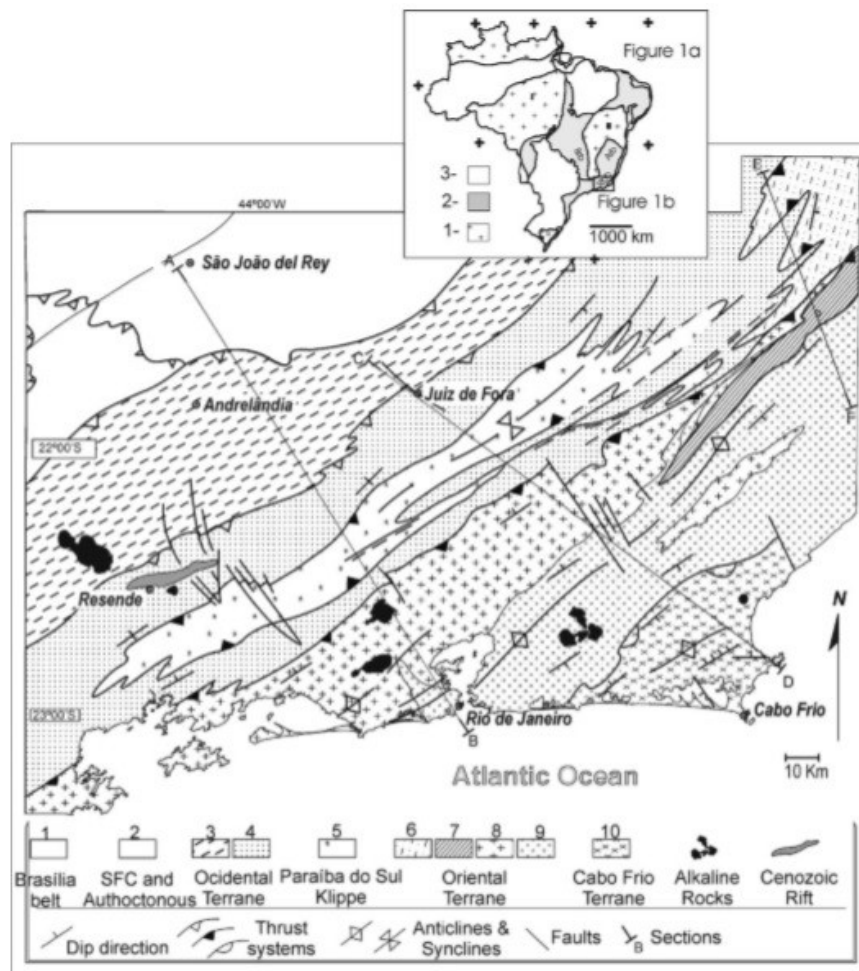


Figura 10: 1a: Subdivisões tectônicas do Brasil, mostrando os blocos cratônicos (1), cinturões Neoproterozoicos/Cambrianos (2), e as principais bacias intracratônicas fanerozoicas (3) adaptados de Almeida *et al.*, 2000 *apud* Heilbron & Machado, 2003. 1b: Principais unidades tectônicas e terrenos do sudeste do Brasil adaptado de Heilbron *et al.* (1995, 2000a) e Trouw *et al.* (2000) *apud* Heilbron & Machado (2003). Retirado de Heilbron & Machado (2003)

O Terreno Ocidental compreende os domínios Andrelândia e Juiz de Fora, que estão imbricados em direção ao Domínio Autóctone que está presente na borda do Cráton. Estes empurrões apresentam zonas miloníticas onde estão presentes rochas referentes à diferentes domínios e/ou unidades. (Heilbron *et al.*, 2000). Ambos os domínios possuem sua litologia formada por um embasamento gnáissico de idade Paleoproterozoica, que é sobreposto por sequências metassedimentares (quartzitos) derivadas da erosão da crosta Paleoproterozoica (Machado *et al.*, 1996 Machado & Gauthier, 1996; Valladares *et al.*, 1997 *apud* Heilbron & Machado 2003).

O Terreno Paraíba do Sul, também chamado de Klippe Paraíba do Sul é uma estrutura sinforme que sobrepõe o Domínio Juiz de Fora. Litologicamente é composto por ortognaisses (hornblenda-biotita gnaisses) de idade Paleoproterozoica e rochas metassedimentares (mármore dolomítico, biotita-granada gnaisses com bandas de mármore, biotita-silimanita xisto, rochas calcissilicáticas e pouco quartzito feldspático, além de biotita-muscovita xisto por vezes contendo granada e silimanita), todos inseridos na fácies anfibolito. (Heilbron & Machado, 2003).

O Terreno Oriental é dividido em três diferentes domínios: Cambuci, Costeiro e Klippe de Italva. O Domínio Cambuci compreende o embasamento deste terreno além de uma sucessão de rochas metassedimentares sobrepostas ao embasamento. Litologicamente o embasamento é formado por granada-hornblenda-biotita tonalitos, charnokitos, dioritos e granitos porfiríticos, enquanto que as sucessões são formadas por silimanita-granada-biotita gnaisses com camadas de mármore dolomítico e poucas lentes de rochas calcissilicáticas gonditos e anfibolitos (Heilbron & Machado, 2003).

O Domínio Costeiro, onde a região deste trabalho está inserida, é formado por duas associações metassedimentares que são intrudidas pelo Arco Magmático Rio Negro (Tupinambá *et al.*, 1996) e por diversas gerações de granitoides de idade mais recente. As rochas metassedimentares compreendem gnaisses bandados com lentes quartzíticas e gnaisses kinzigíticos com lentes calcissilicáticas e quartzíticas (Heilbron & Machado, 2003). Valladares *et al.* 1999 *apud* Heilbron & Machado 2003 identificaram idade de 2.0Ga em grãos de zircão detríticos derivados dos quartzitos que são intercalados com gnaisses bandados e gnaisses kinzigíticos, concluindo assim que parte dos sedimentos clásticos são de origem Paleoproterozoica.

O magmatismo neste domínio compreende ortognaisses relacionados ao Complexo Rio Negro, que se apresentam em duas séries calcialcalinas (médio K e Alto-K), com idades de 630 Ma e 792 Ma respectivamente, rochas sin-colisionais com grande presença de migmatização e leucogranitos com idade de 600 Ma. Com idade de 580-550 Ma tem-se rochas calcialcalinas, representados pelos Batólitos Serra dos Órgãos e Facoidal. (Heilbron & Machado, 2003). Relacionado ao período tardi- a pós- colisional tem-se granitoides dioríticos a granodioríticos, com idade de 520 Ma, O granito Pedra Branca, com 513 Ma e o mais recente, que corresponde ao Granito Favela/Andorinha com idade 480 Ma (Porto Jr, 2004).

A Klippe de Italva corresponde a uma sucessão metassedimentar composta por granada-hornblenda-biotita gnaisses bandado e finas camadas de mármore calcítico intercalado com bandas

de anfibolitos, e hornblenda-biotita gnaisses, todos na fácies anfibolito, de Idade 502 Ma. A principal estrutura do domínio é definida por uma sinforme com eixo NE e plano axial subvertical (Heilbron & Machado, 2003).

Estratigraficamente o Domínio Cambuci representa a base do Terreno Oriental, sendo sobreposto pelo Domínio Costeiro, que é visto na parte central e sul do estado do Rio de Janeiro, que então é sobreposto pela Klippe Italva, que representa a porção superior do terreno (Heilbron & Machado, 2003).

O limite entre os terrenos Ocidental e Oriental é dado pela *Central Tectonic Boundary (CTB)* (Almeida *et al.* 1998), que é uma extensa zona de cisalhamento (200 Km) que se estende desde a costa do estado de São Paulo até a Serra dos Órgãos, no estado do Rio de Janeiro (Heilbron *et al.*, 2000).

O terreno Cabo Frio (Fonseca *et al.*, 1984; Fonseca, 1998 *apud* Heilbron & Machado, 2003) está localizado na Região dos Lagos do estado do Rio de Janeiro. Forma uma zona de empurrão acima do terreno Oriental. Seu embasamento é composto por ortognaisses com composição granítica a granodiorítica de idade 2.03-196 Ga, sobreposto por ortoanfibolitos ricos em granada. Ambos possuem assinatura geoquímica relacionada a N-MORB. A porção superior compreende sequências supracrustais formadas por cianita-silimanita gnaisses, granada-diopsídio anfibolitos e ortoanfibolitos, rochas calcissilicáticas e silimanita gnaisses. (Heilbron & Machado 2003). As idades geradas a partir de zircão detrítico indicaram 950 a 700 Ma. (Schmitt *et al.*, 1999, Schmitt, 2000). Diferentemente do restante da Faixa Ribeira, que apresenta vergência NE, este terreno apresenta vergência estrutural para NW (Rosier, 1965, Heilbron *et al.*, 1982; Fonseca, 1984, Fonseca, 1998 *apud* Heilbron & Machado 2003) possivelmente devido a Orogenia Búzios (Schmitt, 2000), que também foi responsável pela geração do metamorfismo da área.

4 – Geologia Local

O Complexo Pedra Branca (CPB) (**Figura 11**) apresenta uma área de aproximadamente 160 Km² e foi definido por Porto Jr (1993) a partir do desenvolvimento de estudos na área feitos por diversos autores, onde se destacam os trabalhos de Helmbold *et al.* (1965), Penha (1984), Penha & Wiedemann (1984) e Porto & Valente (1988). A complementação de dados feita por Porto Jr (1993, 1994) permitiu a caracterização e individualização dos conjuntos de rochas na área em três principais unidades (Tonalítica (Utn), Granito Pedra Branca (Ugpb) e Biotita Granito (Ubg)) como também a definição de quatro fácies referentes ao granito Pedra Branca (Média-Homogênea, Bandada, Pegmatítica e Hololeucocrática). Estas três unidades, somadas às rochas encaixantes, que são definidas por uma sequência ortoderivada (Série Inferior) e por outra paraderivada (Série Superior), formam o CPB (Porto Jr., 2004).

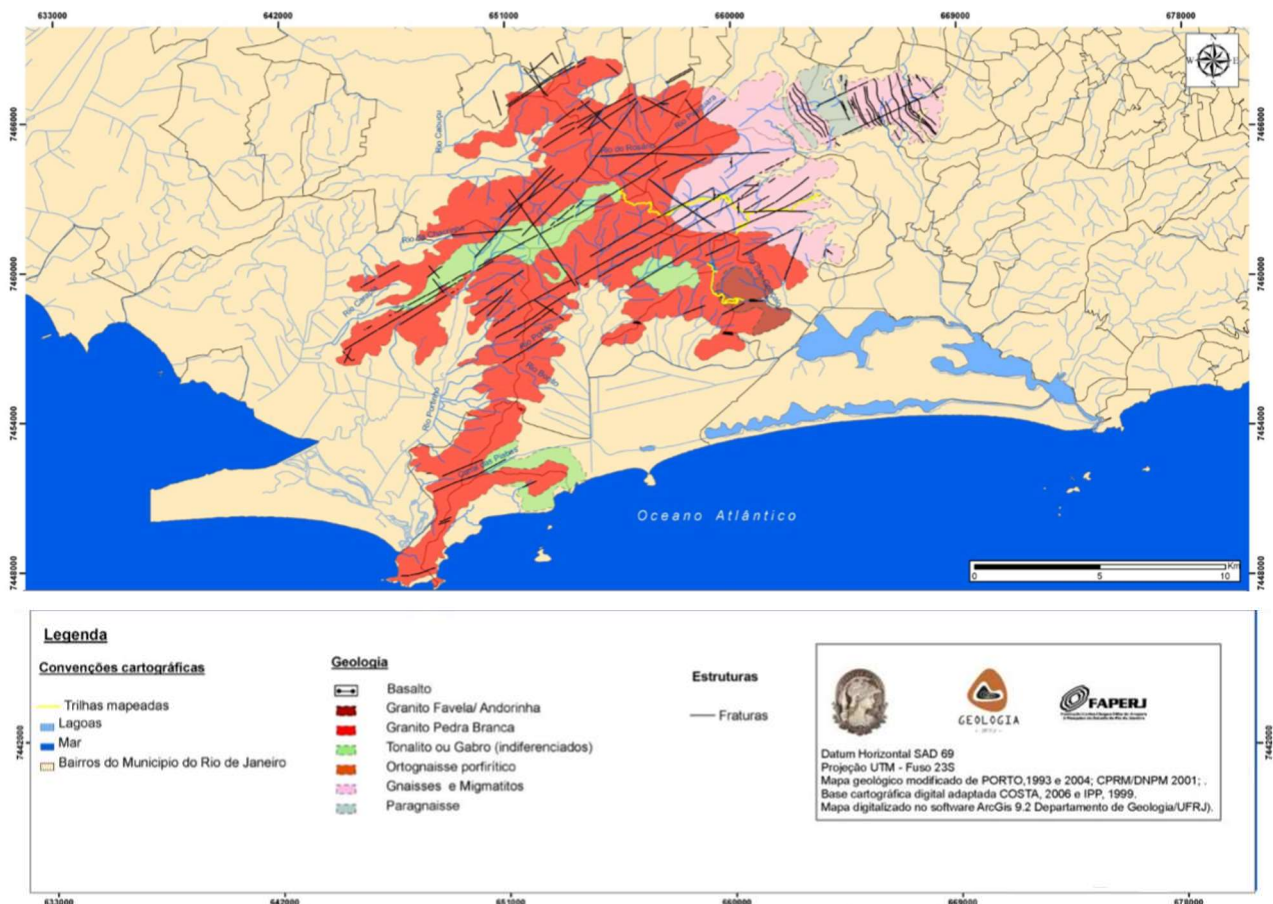


Figura 11: Mapa geológico do Complexo da Pedra Branca modificado de Porto Jr (1993) e (2004) retirado de Mello *et al.*, (2009) *apud* Pereira (2010).

As rochas encaixantes, entendidas como embasamento, são formadas por gnaisses ortoderivados pré-colisionais, representados por quartzo diorito a granodiorito gnaiss, granodiorito gnaiss, anfibolito e tonalito a granodiorito gnaiss (Helmbold *et al.*, 1965), além de um plagioclásio gnaiss, agora sin-colisional, chamado por Pires *et al.* (1989) de Gnaiss Archer, que representa diferentes tipos gnáissicos com variações na quantidade de plagioclásio, além de microclina gnaiss. Também inserida como embasamento encontra-se uma sequência metassedimentar formada por biotita-granada-plagioclásio-gnaiss, que corresponde aos tipos kinsigíticos relacionados às rochas da margem passiva (Porto Jr., 2004). Há também a presença de venulações Sin-D2, com composição granítica (sieno a monzogranito) que são observadas sempre interdigitadas ao bandamento gnáissico (Porto Jr., 2004).

Os granitoides que foram formados em eventos tardi- a pós-D3 são definidos por litologias que variam de gabros e dioritos a granodioritos, onde os de composição tonalito/granodiorito se apresentam em maior volume. Os gabros ocorrem de forma restrita, podendo ser visualizados na subida da estrada da Grotta Funda. Os dioritos e quartzo dioritos possuem ampla ocorrência na região do Jardim Sulacap. Estes são mesocráticos e aparecem intrusivos nas rochas gnáissicas, formando “plugs”. Diques da fácies pegmatítica do Granito Pedra Branca e da fácies equigranular do Granito Favela/Andorinha cortam estas rochas (Porto Jr., 2004). Os tonalitos ocorrem de forma mais expressiva em duas regiões dentro do Maciço: a primeira está localizada em uma faixa que vai do flanco oeste do Maciço da Pedra Branca até a parte central, próxima ao Pico da Pedra Branca. A segunda está localizada na região sul, entre as praias da Macumba e Grumari. Possuem cor cinza em tons escuros e os minerais plagioclásio, quartzo, anfibólio, biotita podem ser visualizados em amostra de mão. Microscopicamente são visualizados megacristais de plagioclásio entre os grãos de quartzo, alinhamento de feldspatos, além de biotita, hornblenda, titanita, apatita, zircão e microclina. Ocorrem comumente sob forma de blocos “in situ”. Também é possível observar que o granito Pedra Branca corta estes tonalitos, formando contatos bruscos (Porto Jr., 2004).

Não há idade registrada para estes granitoides, porém a presença de xenólitos destes no granito Pedra Branca, além do fato de serem cortados por este granito, sugere que estão relacionados a um evento mais antigo do que o que gerou os granitos Pedra Branca e Favela/Andorinha.

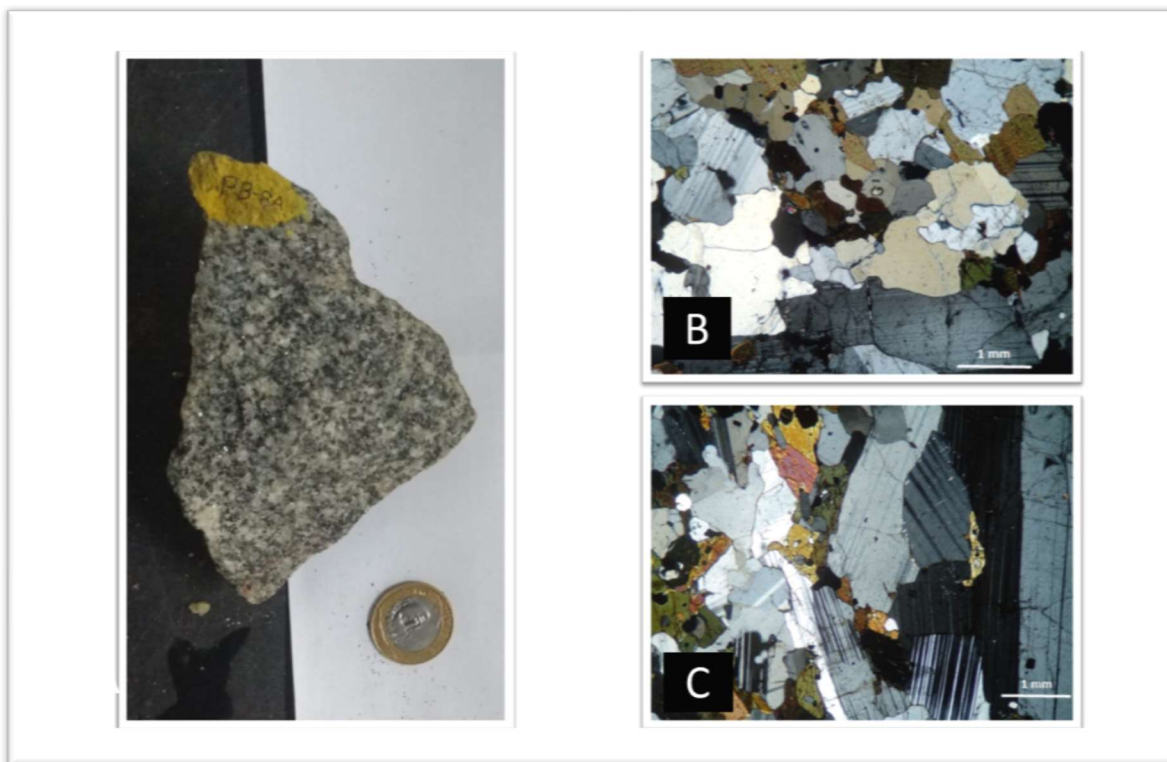


Figura 12: Tonalito Tachas. a) Amostra de mão utilizada para confecção deste trabalho. b) e c) Tonalito visualizado sob microscopia óptica.

Os litotipos relacionados aos eventos Tardi- a Pós-Colisionais compreendem o Granito Pedra Branca (Porto Jr. & Valente, 1988) que é um granito porfirítico, enriquecido em megacristais de microclina pertítica, que se sobressaem em matriz de composição monzogranítica. Estes litotipos definem a Unidade Granito Pedra Branca (Porto Jr., 1993). Os megacristais de microclina apresentam-se orientados de forma planar e/ou linear, o que confere à rocha uma foliação e lineação classificadas por Mello (1984); Penha & Wiedemman (1984), Porto Jr. & Valente (1988), Porto Jr. (1994) *apud* Porto Jr. (2004) como primárias e de origem relacionada a fluxo magmático (Porto Jr., 2004). O granito Pedra Branca pode ser visualizado na forma de grandes paredões de rochas crua ou em forma de matacões. Quatro fácies foram individualizadas: Média-Homogênea, Bandada, Pegmatítica e Hololeucocrática (Porto Jr., 2004).

A fácies Média-Homogênea (Porto Jr. & Valente, 1988) (**Figura 13**) é a mais dominante em área. Pode ser visualizada na pedreira EMASA, em Campo Grande, no Morro do Sandá, localizado mais a norte do Maciço, além da Pedra do Calembá, em Vargem Grande e o Morro de Grumari, no Recreio dos Bandeirantes. A rocha apresenta megacristais de microclina pertítica, variando de 2 a 4cm o tamanho do grão, que estão envoltos por matriz de granulometria média, rica em quartzo, plagioclásio e microclina (Porto Jr., 2004).

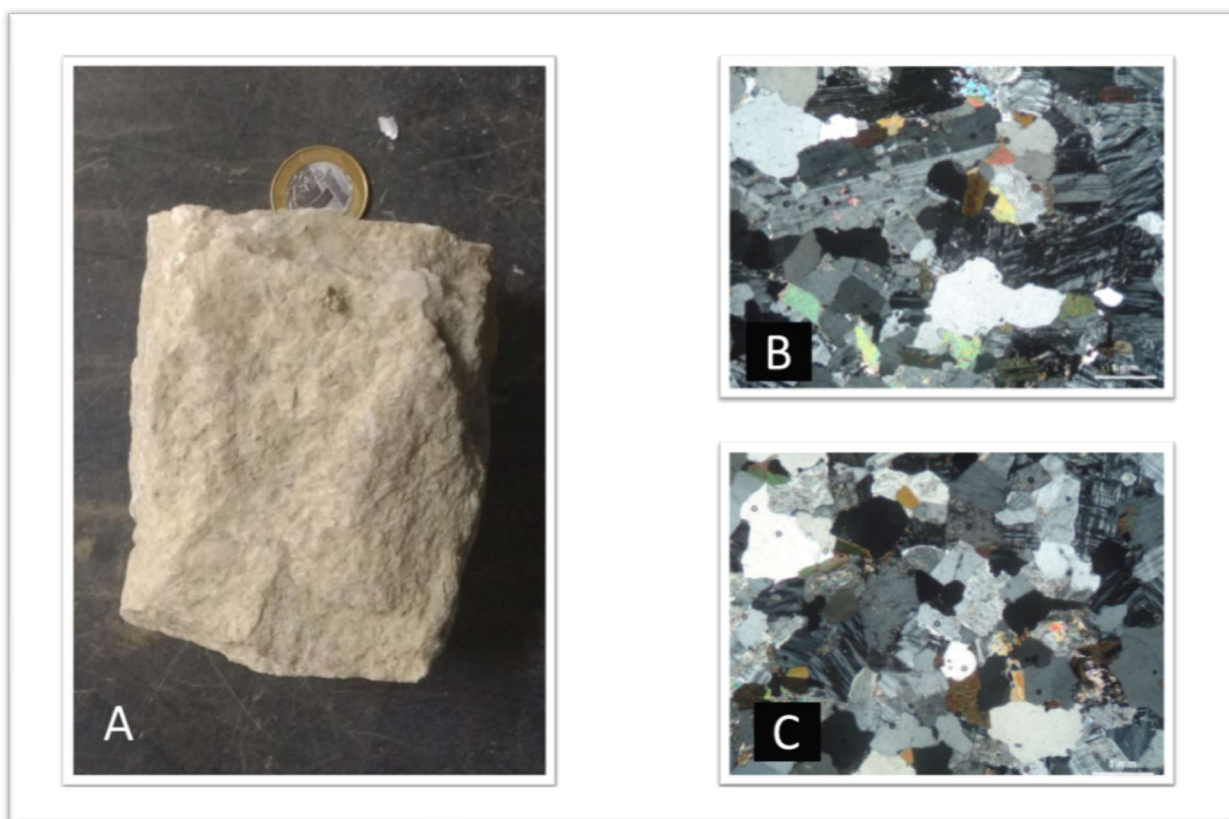


Figura 13: a) Amostra de mão representante da fácies Média-Homogênea utilizada para realização deste trabalho. b) e c) Aspecto geral desta fácies via microscopia óptica.

A fácies Bandada (Porto Jr. 1993) (**Figura 14**), apesar de ser a segunda em relação à área de ocorrência, possui difícil individualização em mapas com escalas menores que 1:10.000 devido à dificuldade de visualização de seu bandamento característico, que é formado em função do hábito colunar que os megacristais de microclina adquirem. Este bandamento é realçado pela presença de filetes de biotita que se encontram alinhados de acordo com os planos dos megacristais. A origem destes filetes pode estar relacionada a enclaves microgranulares ou xenolíticos muito assimilados ou “schlierens” de biotita, que se formam em função do fluxo magmático (Porto Jr., 1994, 2004).

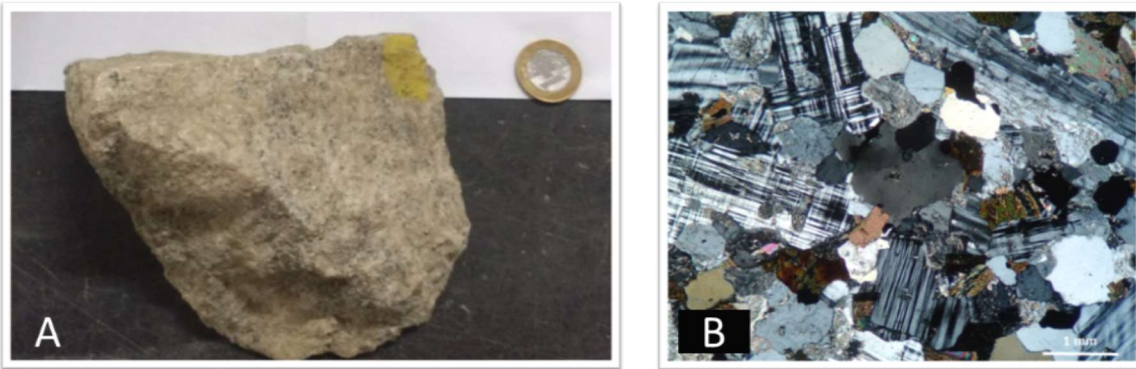


Figura 14: a) amostra de mão representante da fácies Bandada do granito Pedra Branca. b) Microscopia ótica referente à mesma faciologia.

A fácies Pegmatítica (Porto Jr. & Valente, 1988) (**Figura 15**) ocorre quando do contato da intrusão granítica com a rocha encaixante, na forma de diques e/ou bolsões pegmatíticos e só pode ser individualizada em perfis de pedreiras, especificamente Pedreira BANGU. Composicionalmente possui 75% de seu volume composto por cristais centimétricos (até 12 cm) de microclina perítica, com matriz grossa contendo quartzo, plagioclásio albítico e rara biotita (Porto Jr., 2004).



Figura 15: Fácies pegmatítica em afloramento.

A fácies Hololeucocrática (**Figura 16**) utiliza a fácies Média-Homogênea como hospedeira, e assim, se apresenta na forma de bandas interestratificadas homogêneas, de 5 cm até 60 cm, que são contrastantes com a Média-Homogênea. Devido a isto, é a que ocorre de forma mais restrita em relação a área, aflorando principalmente na pedreira EMASA. Possui cor branca, textura equigranular, com grãos de microclina, plagioclásio, quartzo e pouca magnetita. Há presença de fluxo, que se torna mais visível devido a constante intercalação entre as duas fácies. Não é possível visualizar estruturas de bordas resfriadas durante as intercalações e, somado a forma da geometria das bandas, é possível perceber que não há grande variação de temperatura entre estas. (Porto Jr. *et al* 1992a e b; 1993 *apud* Porto Jr., 2004). Com exceção deste contato formado entre as fácies

Hololeucocrática e Média-Homogênea, os outros contatos presentes no granito Pedra Branca ocorrem quase totalmente na forma gradacional, o que pode ser explicado como sendo fruto de uma cristalização que ocorreu em pouco espaço de tempo, com presença de um fluxo de “magmas” que possuíam diferentes mobilidades dentro da mesma câmara magmática (Porto Jr., 2004).

Porto Jr. (2004) e Porto Jr. *et al.* (2018) propõem uma interpretação para a origem do acamamento magmático formado pelas fácies Hololeucocrática e Média-Homogênea baseado em um modelo análogo para magmas silicosos proposto inicialmente por Vigneresse *et al.* (1996). O processo seria resultado de efeitos combinados de cristalização *in situ* e percolação por *filter pressing* (Mckenzie, 1987) de líquido intersticial para zonas de baixo gradiente de pressão.

O processo inicial deu-se por cristalização fracionada, onde o líquido possuía de 20% a 55% de cristais formados, permitindo que estes rotacionassem livremente segundo um fluxo magmático. Próximo ao limite de 55% definiu-se o limite de percolação rígida (*Rigid Percolation Threshold* - RPT). Neste estágio boa parte dos minerais acessórios e opacos precoces se cristalizaram, empobrecendo o líquido nestes. Acima do limite RPT até o limite de bloqueio de partículas (*particle locking threshold* - PLT), onde aproximadamente 72 a 75% do material estava cristalizado, a interação mecânica entre as partículas sólidas foi intensa devido ao stress causado pelas tensões diapíricas e ascensão do magma, forçando, então, o líquido intersticial a fluir para zonas com menor pressão. Esta percolação ocorreu preferencialmente em zonas de borda da intrusão com limitações devido a permeabilidade do *Crystal mush* e do aumento da componente de cisalhamento nessas regiões. O líquido residual, com composição muito próxima ao eutético granítico, se depositou nas regiões baixas pressões (σ_3), onde cristalizou. Sendo assim, a formação da fácies Hololeucocrática se deu através dos processos cumuláticos relacionados ao fluxo do magma próximo a encaixante somado com a percolação do líquido intersticial por *filter pressing* (Mckenzie, 1987) (Porto Jr. *et al.*, 2018).

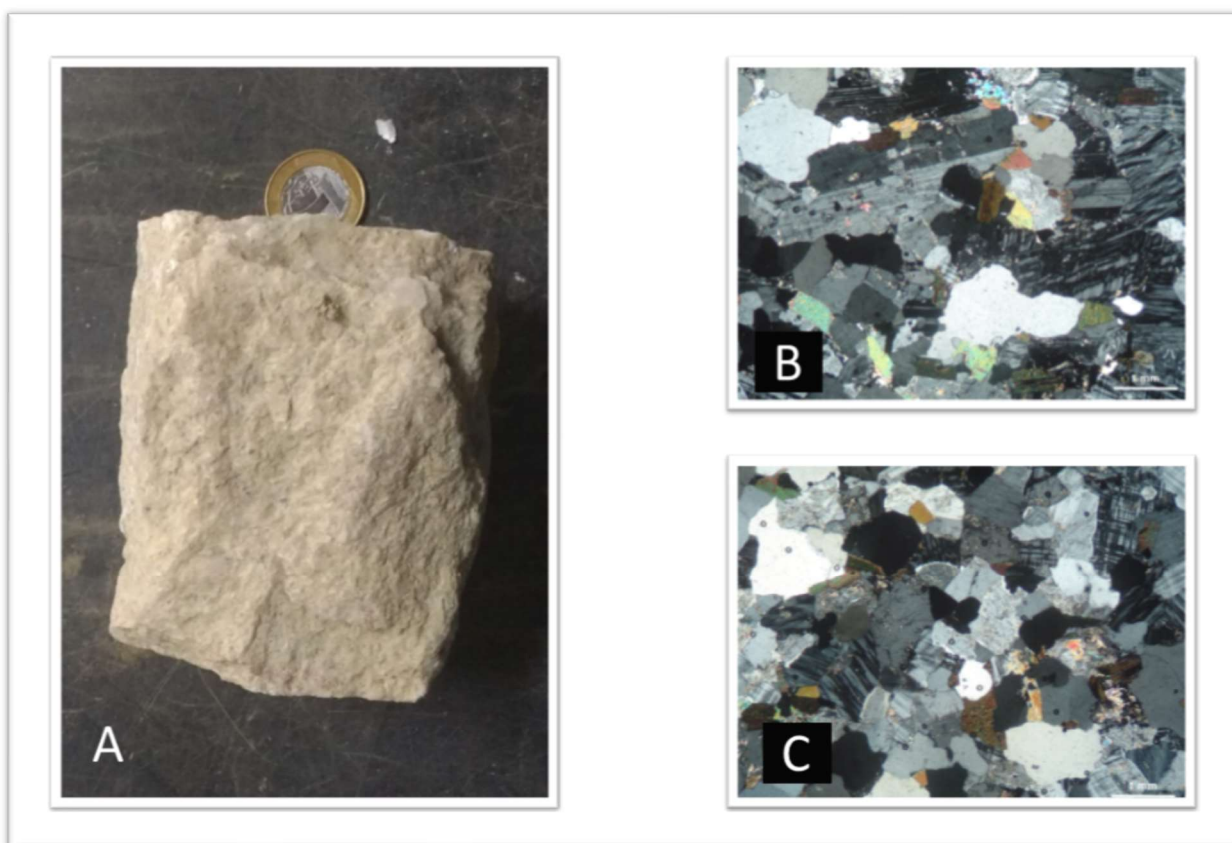


Figura 16: a) amostra de mão representativa da fácies Hololeucocrática do granito Pedra Branca. b) e c) Microscopia óptica das mesmas.

O evento mais recente (Pós-colisional) contido no CPB refere-se ao Granito Favela (**Figura 17**). Este corresponde ao Granito Andorinha, descrito por Penha *et al.* (1980) e ao Granito Favela, descrito por Pires *et al.* (1982). Possuem cor cinza, são homogêneos e podem variar texturalmente de equigranulares a porfíricos. Assim como o Granito Pedra Branca, o Granito Favela também possui diferentes fácies. Aqui fica dividido em fácies equigranular, que se apresenta rico em microclina, plagioclásio e biotita e possui allanita, titanita, zircão, apatita e minerais opacos como acessórios, não possui enclaves e megacristais. Fácies porfírica, onde é possível visualizar estrutura de fluxo através do alinhamento de alguns cristais de microclina que se encontram dispersos em matriz equigranular média. Possui enclaves microgranulares mesocráticos. A fácies glomeroporfírica se assemelha a fácies porfírica, mas apresenta enriquecimento em allanita. A mudança de textura se dá pela presença de aglomerados esbranquiçados de quartzo e plagioclásio que, realçados pela matriz geram uma textura glomeroporfírica. A visualização em mapas com escalas menores que 1:10.000 é muito difícil. Boas ocorrências podem ser visualizadas nas regiões do Morro do Sandá, do Pontal e Barra de Guaratiba. A fácies glomeroporfírica aflora com boa exposição na região da Pedra da Rosilha, que localmente foi denominado de granodiorito Rosilha (Porto Jr., 2004).

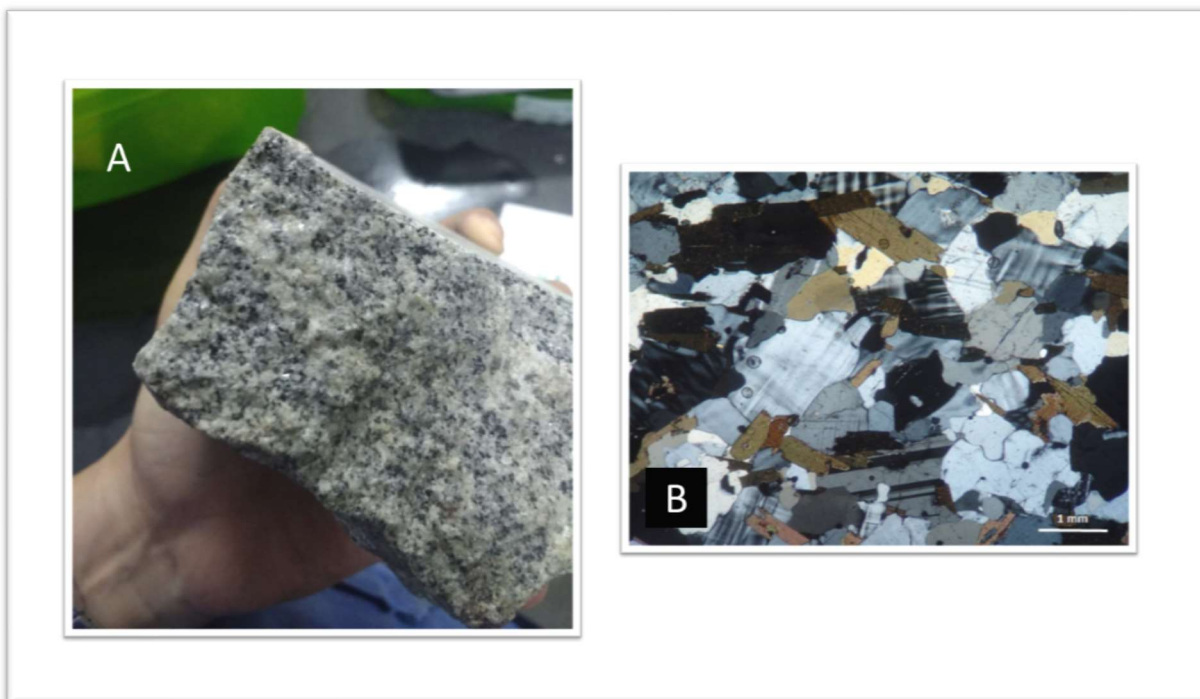


Figura 17: a) Amostra de mão referente ao granito Favela. b) Aspecto geral do granito Favela via microscopia óptica.

4.1. Metamorfismo

O contexto metamórfico que a área está inserida está relacionado ao da Faixa Ribeira, que foi descrito por Pires *et al.* (1986) e Heilbron *et al.* (1993) como tendo ocorrido em duas etapas (M1 e M2). O primeiro (M1) é visto como principal e atingiu seu ápice de temperatura concomitante com a ocorrência da deformação principal (D1 e D2). O metamorfismo M2 é marcado por crescimento de minerais metamórficos que estão relacionados à etapa de deformação D3. As paragêneses estudadas como base para o estudo estão relacionadas às rochas supracrustais, que representam o limite entre as fácies anfibolito alto-granulito, sendo inicialmente classificado por Leonards Jr. (1973) *apud* Porto Jr., (2004) como do tipo Abukuma, que apresenta regime de P-T com valores entre 600° e 800° e 4-5 kbars, com gradiente geotérmico de 60° C/km. O ápice do metamorfismo permitiu a ocorrência de anatexia, gerando migmatitos de injeção e veios leucossomáticos. O estudo das paragêneses definiu as condições de P-T como sendo compostas por alta pressão e temperatura no início do processo e diminuição da pressão com a temperatura sendo mantida ao final dele (Pires *et al.*, 1993 *apud* Porto Jr., 2004). Foi possível definir ainda um caminho PT horário, que é típico de metamorfismo em áreas colisionais.

A partir da observação do plagioclásio gnaisse, que possui composição essencialmente tonalítica e é o principal litotipo metamórfico na região de estudo, foi possível definir as seguintes

reações metamórficas: (4) $2 \text{ biotita} + 8 \text{ silimanita} + 13 \text{ quartzo} \leftrightarrow 2 \text{ alcalifeldspato} + 3 \text{ cordierita} + 2 \text{ granada almandina} + 2 \text{ H}_2\text{O}$ ou (5) $\text{biotita} + \text{silimanita (ou cianita)} + 2 \text{ quartzo} \leftrightarrow \text{alcalifeldspato} + \text{granada almandina} + \text{H}_2\text{O}$ (Porto Jr., 2004). A água expelida nestes processos pode percorrer espaços intergranulares, fraturas ou planos de cisalhamento ou ainda ser incorporada em bolsões de fusão que podem gerar processos de rehidratação das fases minerais que irão resfriar, gerando feições como muscovitização, cloritização, sericitização, saussuritização, entre outros (Passchier *et al.*, 1993 *apud* Porto Jr., 2004). Feições estas que podem ser visualizadas em qualquer dos gnaisses da região (Porto Jr., 2004).

4.2. Estruturação

Quatro fases de deformação foram reconhecidas na área. A primeira e mais antiga, D1, foi responsável pela formação da xistosidade S1, que possui baixo ângulo, e também pela formação de foliações plano axiais das rochas gnáissicas. A deformação seguinte, D2, gerou diversos dobramentos com dobras apertadas a isoclinais, recumbentes a reclinadas, na xistosidade S1. Estas dobras, se associadas, sugerem transporte tectônico para NW. A fase D3 gerou planos de cisalhamento CZ com milonitização associada e são comumente observados interceptando os planos axiais dos dobramentos. A última fase, D4, possui caráter rúptil e é visualizada através de planos de falha, que possuem indicadores cinemáticos, como estrias e ressaltos, que sugerem falhamento do tipo normal-oblúquo. Em relação a Sn nos litotipos metamórficos, a predominância do mergulho se dá para SW, embora ocorram em menor número, relacionados a flanco de dobras, mergulhos para NW e SE, respectivamente (Porto Jr., 2004)

5 – Resultados

Ao todo foram analisadas três diferentes litologias para o Complexo: granito Pedra Branca (três das suas quatro diferentes fácies), granito Favela e tonalito Tachas. Foram montados dois epóxis para a análise das amostras, separando-se os grupos de grãos de acordo com a suscetibilidade magnética encontrada pelo separador Frantz e dois mapas (**Figura 18 e Figura 19**) foram montados para facilitar a identificação dos grupos e localização dos tiros.

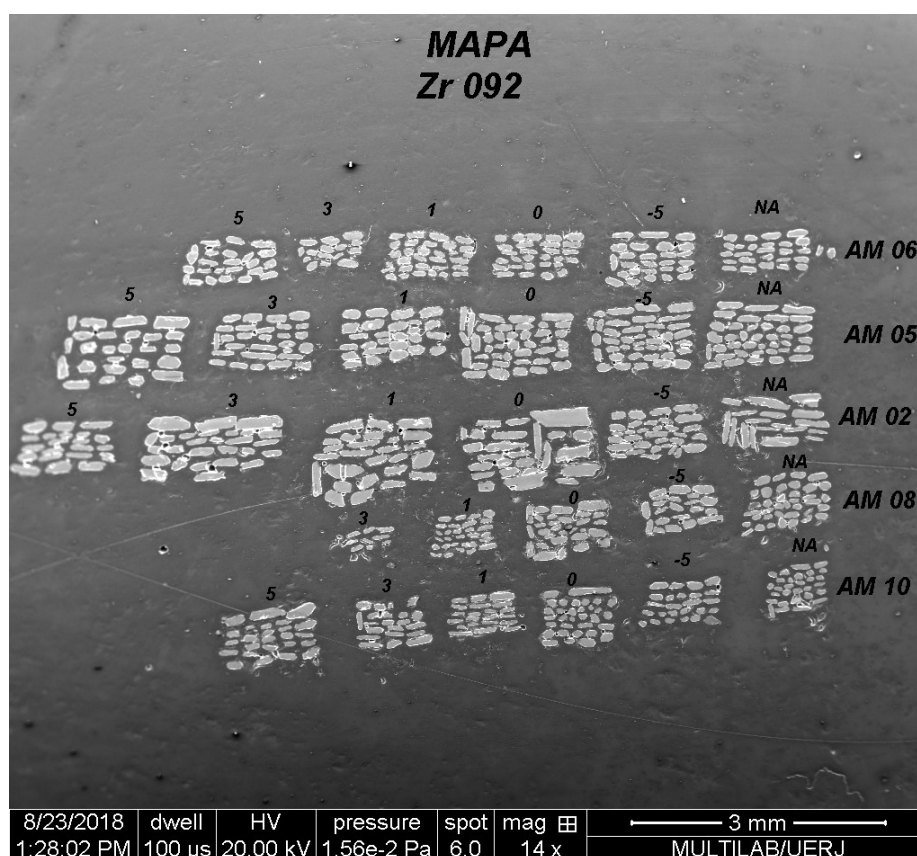


Figura 18: Resina epóxi contendo os grupos referentes às amostras AM 02, AM 05, AM 06, AM 08 e AM 10.

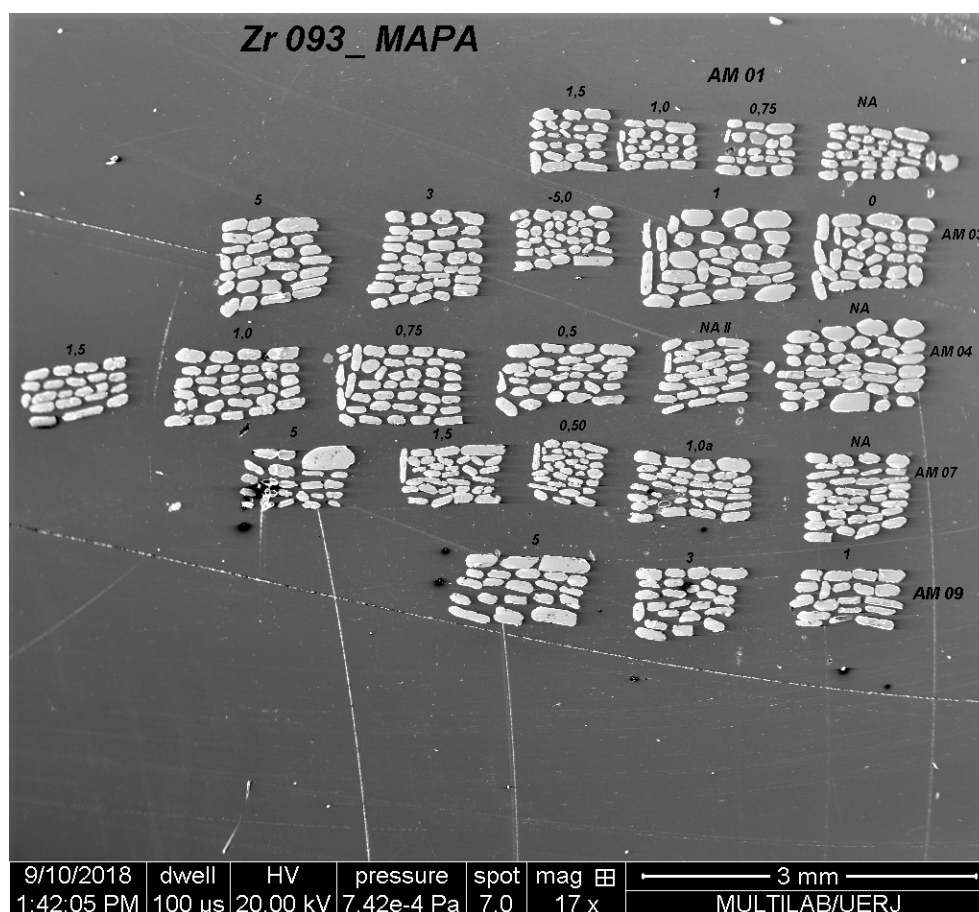


Figura 19: Resina epóxi contendo os grupos referentes às amostras AM 01, AM MO, AM 04, AM 07 e AM 09.

5.1. U-Pb

As imagens geradas pelo MEV auxiliaram na escolha dos grãos que receberam os tiros. Planilhas foram montadas com os resultados destes e utilizando-se destes dados, foram gerados gráficos indicando a idade concórdia.

5.1.1. Granito Pedra Branca

5.1.1.1. Fácies Média-Homogênea

As amostras referentes à esta fácies do granito Pedra Branca são a AM 03, AM 06 e AM 10.

Amostra AM 03:

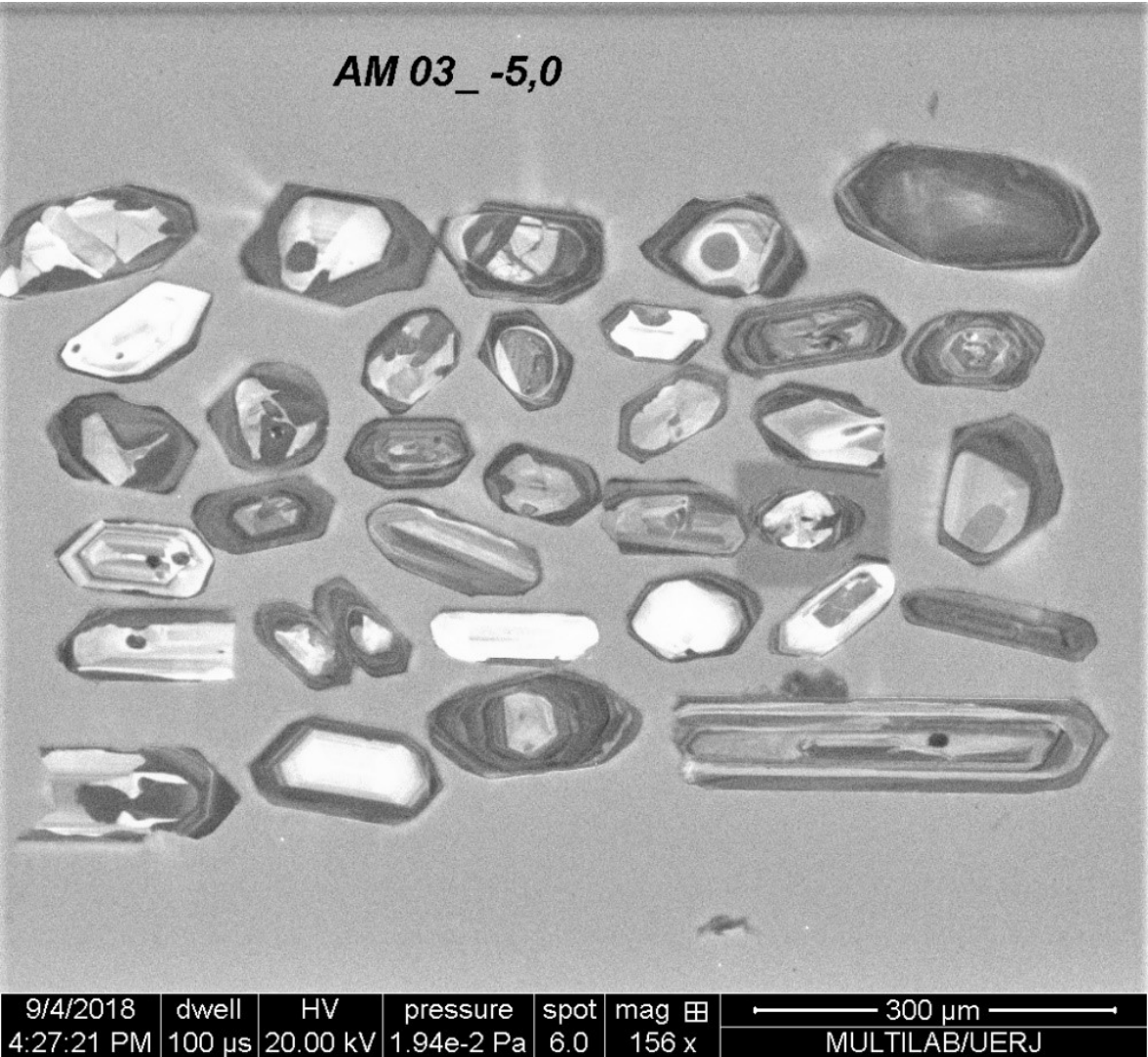


Figura 20: Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 03 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.

Tabela 5: Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 03.

									Isotope ratios/c						Ages (Ma)				
Spot number		Pb	Th	U		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	%
	f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs	Concf
003AM3	18.86625	30.16062	16.25931	277.9323	0.058501	0.662133	3.624064	0.083353	2.648288	0.730751	0.057614	2.473946	516.1039	13.66792	515.9182	18.69721	515.0958	12.74319	100.1957
004-AM3	18.5877	46.89047	39.10235	422.8867	0.092465	0.672141	3.761136	0.085254	3.025519	0.804416	0.05718	2.234363	527.4099	15.95689	522.0134	19.63363	498.4725	11.13768	105.8052
005-AM3	18.15213	19.44349	64.16882	168.6993	0.380374	0.694837	4.043429	0.086248	2.610653	0.645653	0.058429	3.087686	533.3096	13.92286	535.7023	21.66074	545.9031	16.85577	97.69309
006-AM3	17.86737	33.83782	158.6088	304.2697	0.521277	0.635418	3.895584	0.080248	2.977467	0.764319	0.057428	2.512023	497.603	14.81597	499.4652	19.45708	508.0077	12.76127	97.95186
007-AM3	16.39466	32.04363	402.706	257.4601	1.564149	0.665131	3.914643	0.082387	2.697441	0.689064	0.058553	2.836942	510.3556	13.76654	517.7479	20.26799	550.5037	15.61747	92.70704
008-AM3	16.33053	16.48009	201.7684	132.1989	1.526249	0.645837	4.357506	0.081801	3.167267	0.726853	0.057262	2.992704	506.8636	16.05373	505.9139	22.04523	501.6225	15.01208	101.0448
011-AM3	15.38248	13.9318	216.4019	107.9021	2.005539	0.642275	5.981928	0.080885	2.936202	0.490845	0.057591	5.211734	501.402	14.72218	503.7135	30.13178	514.2257	26.80007	97.50622
003AM3	17.2259	7.712573	51.98273	71.24687	0.729614	0.663405	4.364499	0.084705	2.95421	0.676873	0.056803	3.212709	524.1441	15.48432	516.6948	22.55114	483.8851	15.54582	108.32

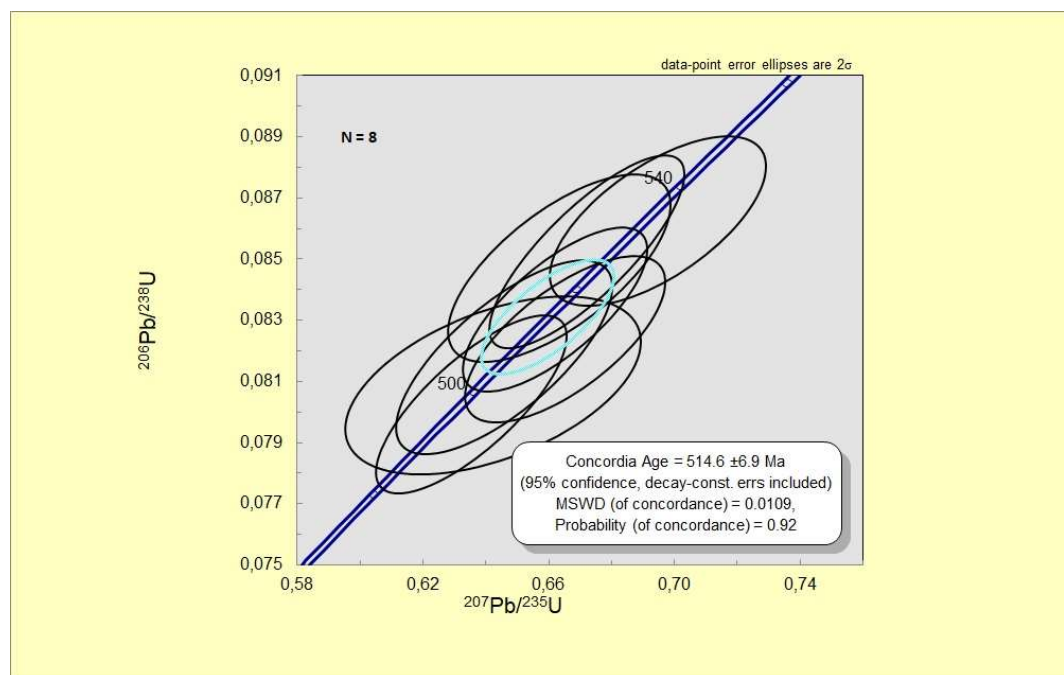


Figura 21: Diagrama concórdia para a amostra AM 03, indicando idade 515 +/- 7 Ma, MSWD = 0,0109 e probabilidade de concordância

Amostra AM 06:

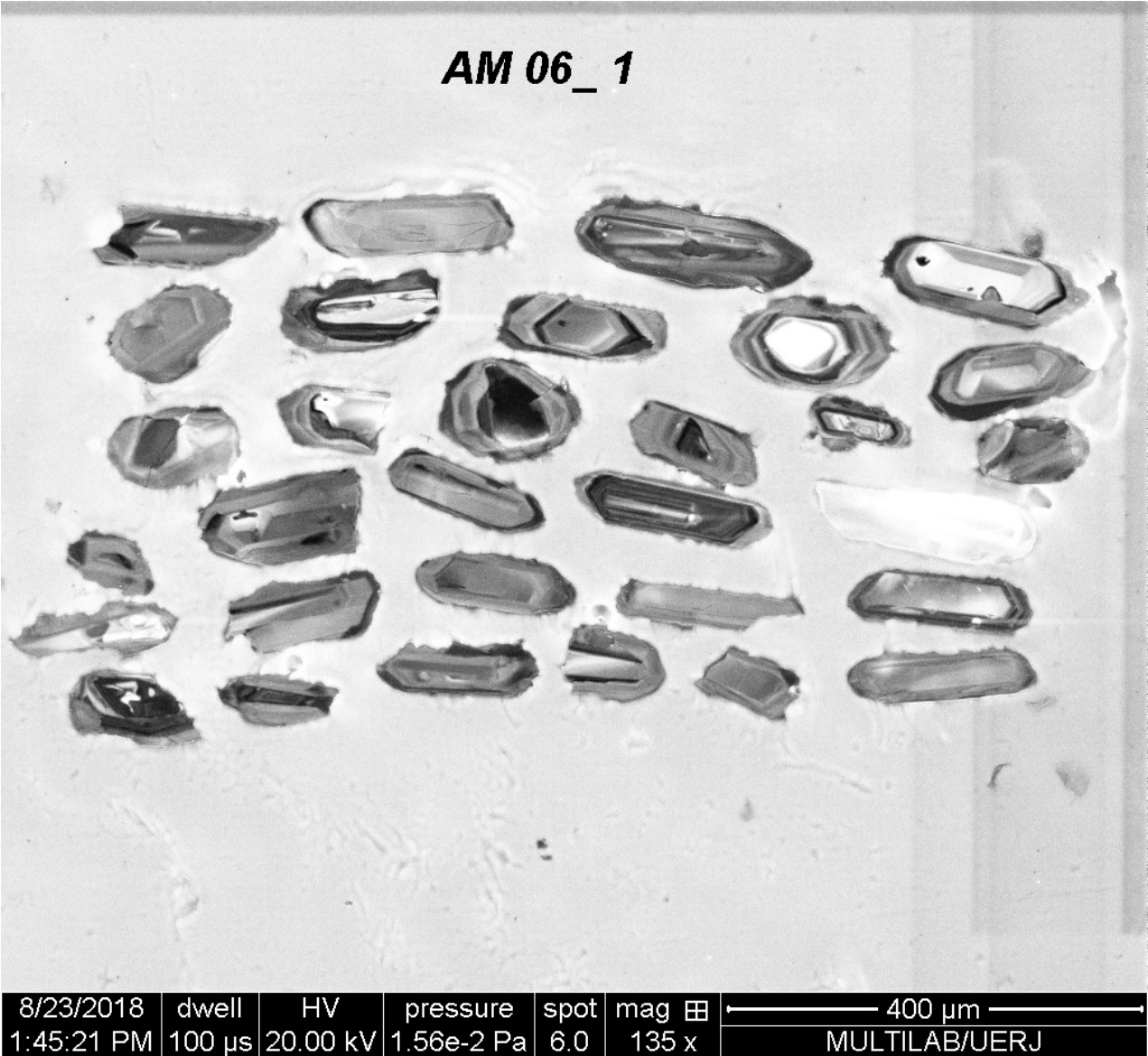


Figura 22: Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 06 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.

Tabela 6: Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 06.

									Isotope ratiosc							Ages (Ma)				
Spot number		Pb	Th	U		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	%
	f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs		235U	abs	206Pb	abs	Concf
AM 06 01	18,00226	59,1386	413,3588	611,7309	0,67572	0,642802	9,484343	0,079581	9,368868	0,987825	0,058583	1,475492	493,6196	46,24657		504,0397	47,80486	551,6172	8,139068	89,4859
AM 06 04	18,30846	21,45562	108,2138	262,256	0,412627	0,61774	5,729917	0,077875	5,046472	0,880723	0,057531	2,713865	483,4285	24,39609		488,4298	27,98662	511,9585	13,89387	94,42729
AM 06 05	18,00944	23,52836	177,7772	291,1261	0,610654	0,61491	4,914805	0,07798	4,255539	0,865861	0,057191	2,458799	484,0543	20,59912		486,6522	23,91801	498,9037	12,26704	97,02361
AM 06 06	18,43596	12,59909	55,71909	142,9298	0,389835	0,645787	5,737177	0,081987	4,967677	0,865875	0,057127	2,870084	507,9702	25,23432		505,8829	29,0234	496,4561	14,24871	102,3193
009-Samp	18,55646	20,59095	43,68337	245,9225	0,177631	0,660333	6,77465	0,083284	5,696293	0,840825	0,057504	3,667169	515,6977	29,37565		514,818	34,87712	510,9144	18,7361	100,9362
AM 06 04	17,41214	32,05111	121,1699	383,7002	0,315793	0,642602	4,368058	0,080294	3,99344	0,914237	0,058044	1,769851	497,8792	19,88251		503,9157	22,01133	531,4154	9,405262	93,68927
AM 06 05	0,04855	11,01319	119,6118	222,8503	0,536736	0,650751	3,856155	0,082736	3,472877	0,900606	0,057045	1,676023	512,4349	17,79623		508,9405	19,62553	493,2709	8,267335	103,8851
AM 06 08	17,57911	23,68174	117,7785	270,0632	0,436115	0,646448	2,909982	0,08228	2,339064	0,803807	0,056982	1,73112	509,7177	11,92263		506,2907	14,73297	490,8381	8,496995	103,8464
AM 06 09	17,44852	12,57696	114,6531	138,3586	0,828666	0,632814	3,766123	0,080679	2,911426	0,773057	0,056887	2,388991	500,1737	14,56219		497,847	18,74953	487,163	11,63828	102,6707
AM 06 02	17,21645	15,28105	141,7722	169,4558	0,836632	0,635725	3,931402	0,080876	3,236995	0,823369	0,057009	2,231094	501,3511	16,22871		499,6558	19,64347	491,8975	10,97469	101,9219

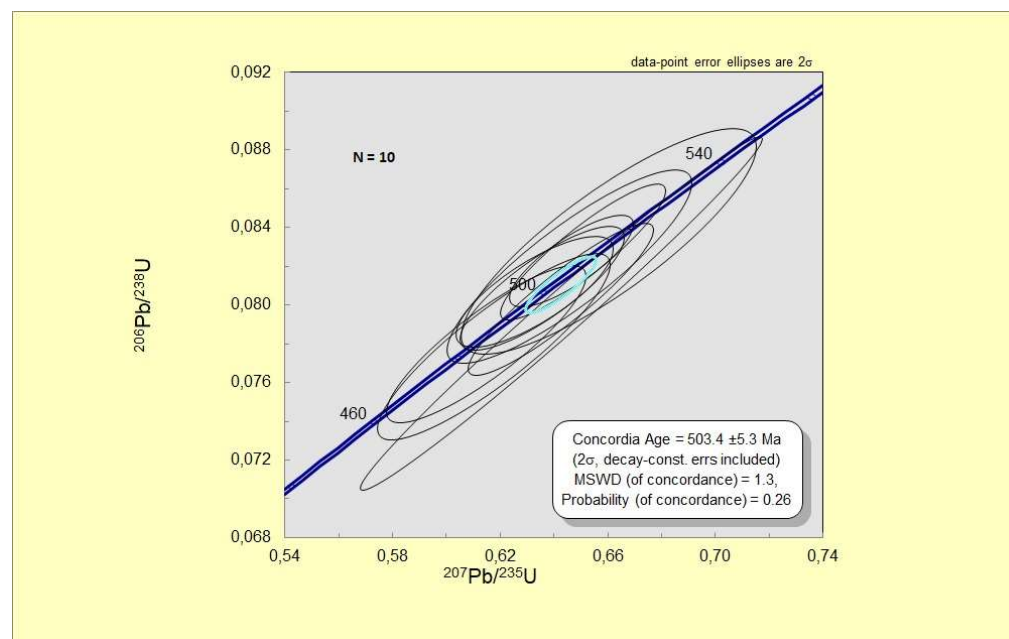


Figura 23: Diagrama concórdia para a amostra AM 06, indicando idade 503 $\pm$ 5 Ma, MSWD = 1,3 e probabilidade de concordância de 0,26.

Amostra AM 10:

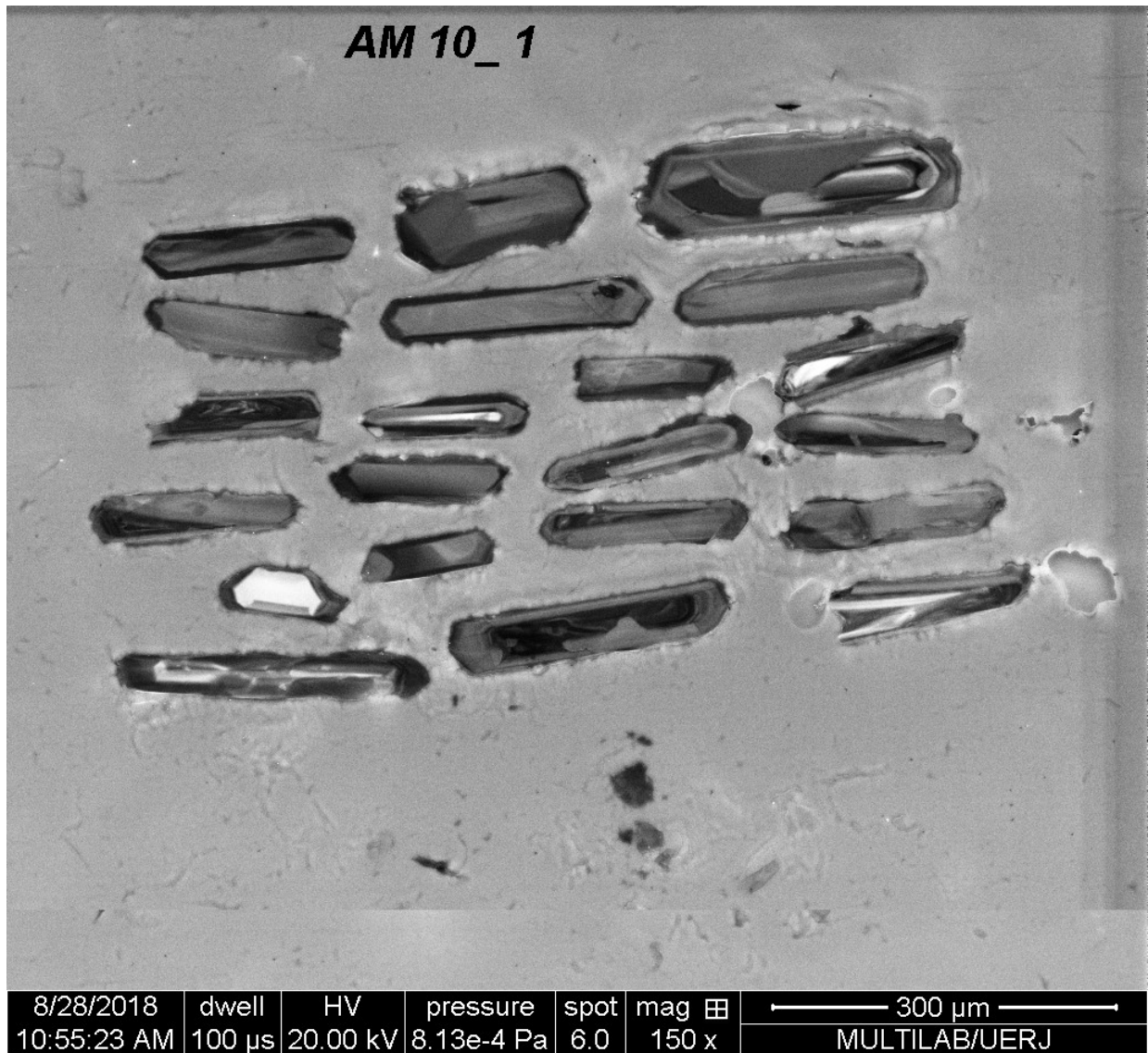


Figura 24: Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 10 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.

Tabela 7: Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 10.

									Isotope ratiosc							Ages (Ma)				
Spot number		Pb	Th	U		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	%
	f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs		235U	abs	206Pb	abs	Concf
AM 10 01	15.11197	25.38815	269.7432	178.5948	1.510365	0.656833	6.633514	0.082103	4.658712	0.702299	0.058022	4.722278	508.6643	23.6972		512.6749	34.00836	530.5972	25.05628	95.86636
AM 10 02	15.9794	38.22388	214.9995	278.9665	0.7707	0.664911	5.677148	0.083784	3.735713	0.658026	0.057557	4.274863	518.6718	19.37609		517.6138	29.3857	512.9461	21.92774	101.1162
AM 10 03	16.26582	52.51622	337.4749	374.1595	0.901955	0.657579	7.056017	0.082635	6.205772	0.879501	0.057714	3.357942	511.8328	31.76318		513.1318	36.20667	518.9225	17.42512	98.63376
AM 10 04	16.70442	70.13931	348.0646	546.0723	0.637397	0.634378	5.637921	0.079213	4.606205	0.817004	0.058083	3.251003	491.4263	22.63611		498.8192	28.12303	532.8864	17.32416	92.21971
AM 10 06	15.62447	31.61551	227.5005	237.4799	0.957978	0.650498	5.414647	0.082695	4.059857	0.749792	0.057051	3.582731	512.1911	20.79423		508.7852	27.54892	493.5067	17.68102	103.786
AM 10 08	17.49698	77.18068	23.57465	632.9899	0.037243	0.637478	4.220262	0.080005	2.508602	0.594418	0.057789	3.393749	496.1527	12.4465		500.7434	21.13268	521.7782	17.70784	95.08881
AM 10B 04	16.75754	49.69333	141.4463	521.1401	0.271417	0.650071	6.865922	0.081975	5.853188	0.852498	0.057514	3.589022	507.9016	29.72843		508.5222	34.91474	511.3136	18.35116	99.33269
AM 10B 06	17.42243	56.43568	18.71874	588.482	0.031809	0.650507	5.002695	0.081884	4.044361	0.808436	0.057617	2.944504	507.3595	20.51945		508.7907	25.45325	515.2281	15.17091	98.4728

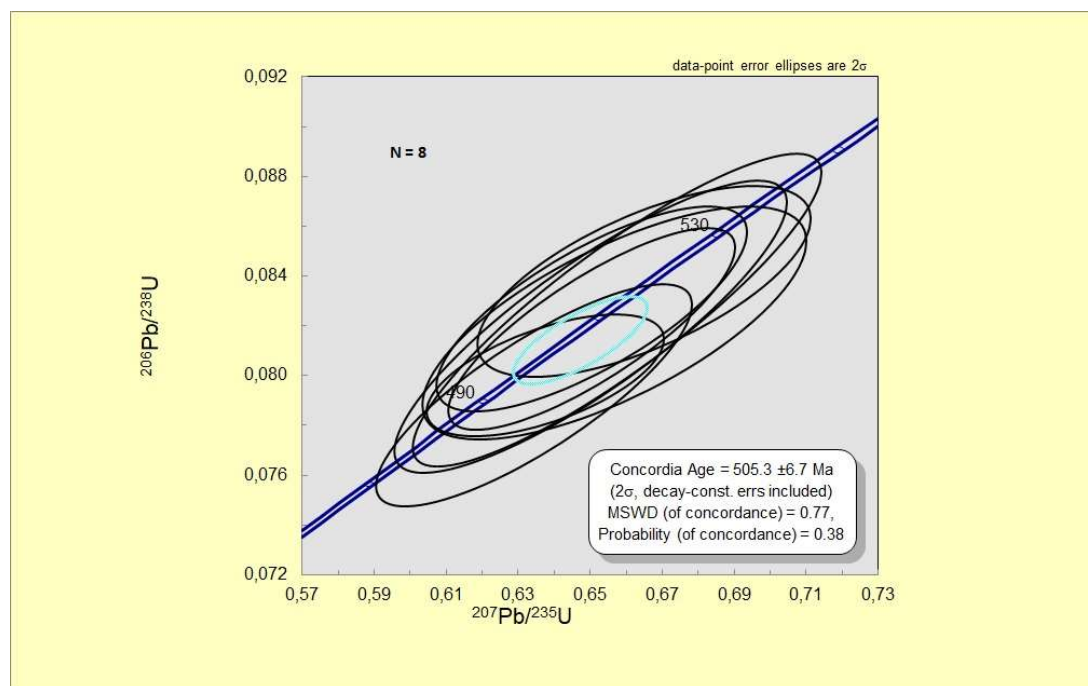


Figura 25: Diagrama concórdia para a amostra AM 10, indicando idade 505 +/- 7 Ma, MSWD = 0,77 e probabilidade de concordância de 0,38.

5.1.1.2. Fácies Bandada

As amostras AM 04 E AM 05 são as representantes desta fácies.

Amostra AM 04:

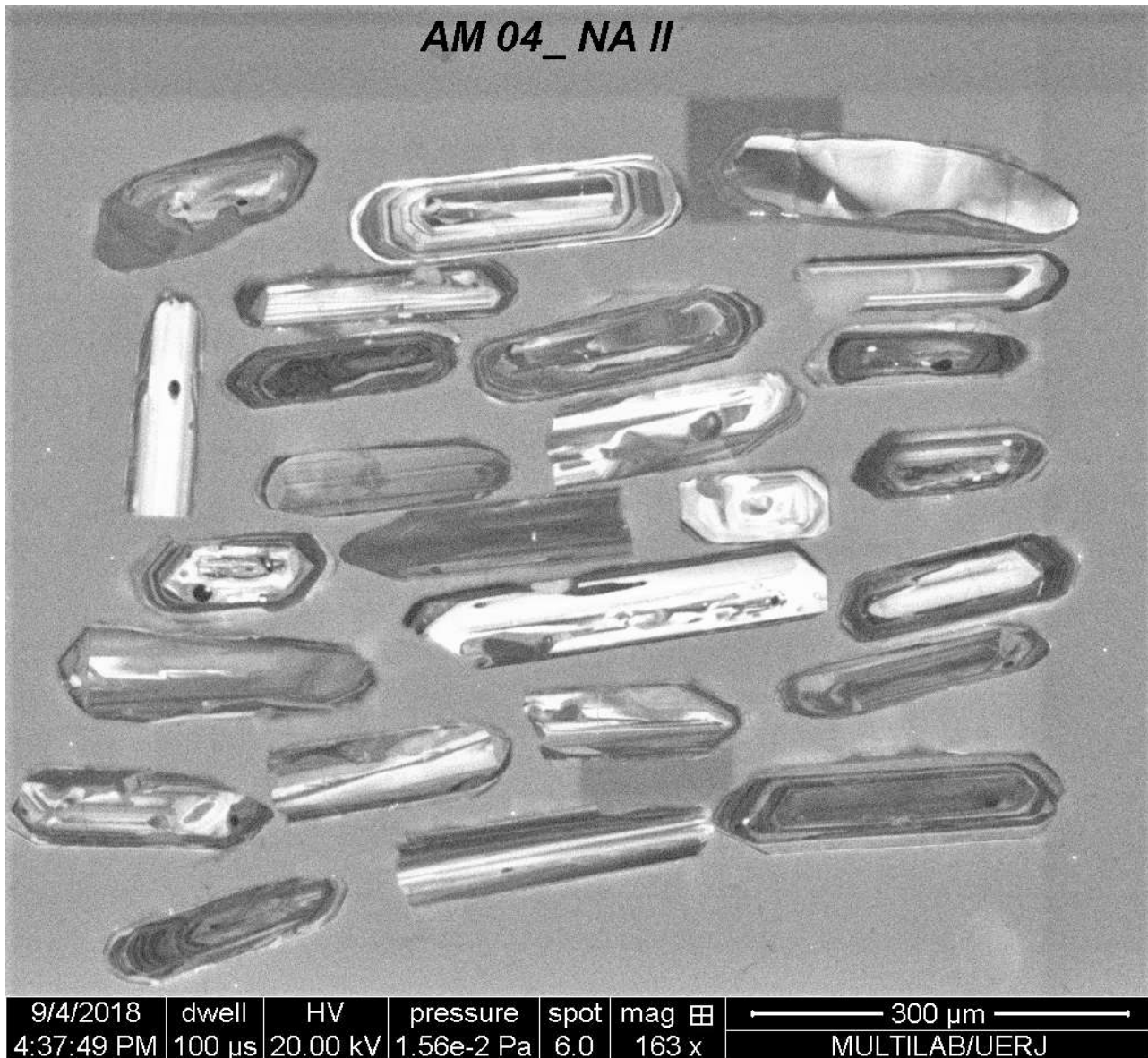


Figura 26: Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 04 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.

Tabela 8: Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 04.

Spot number	Isotope ratiosc										Ages (Ma)									
	207Pb/		206Pb/		207Pb/		206Pb/		207Pb/		206Pb/		207Pb/		206Pb/		207Pb/		206Pb/	
	f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs	Concf	%
003-Samp	18.51194	24.23013	40.99676	205.1655	0.199823	0.679536	3.227432	0.08503	2.555265	0.791733	0.057961	1.971531	526.0795	13.44273	526.4938	16.99223	528.2904	10.41541	99.5815	
004-Samp	18.24164	25.31423	67.97407	212.9667	0.319177	0.672279	3.251959	0.084408	2.618014	0.805057	0.057765	1.929052	522.3819	13.67603	522.0974	16.97839	520.8529	10.04752	100.2936	
005-Samp	18.48266	43.42955	120.4943	359.9584	0.334745	0.68614	3.078878	0.085764	2.574535	0.836192	0.058024	1.688568	530.4382	13.65632	530.4786	16.33279	530.6525	8.960431	99.95961	
006-Samp	16.09762	10.85851	123.4823	85.34537	1.446854	0.636037	3.775372	0.080267	2.646287	0.700934	0.057471	2.692693	497.7147	13.17096	499.8494	18.87117	509.6355	13.72292	97.66093	
AM 04B 01	17.29308	47.96408	74.76301	421.071	0.177554	0.664595	4.600083	0.082982	3.941418	0.856815	0.058086	2.371916	513.8951	20.25475	517.4209	23.80179	533.0206	12.6428	96.41186	
AM 04B 04	16.99117	43.68746	116.3033	393.7817	0.29535	0.6569	4.586093	0.081783	3.748554	0.817374	0.058255	2.642081	506.7569	18.99606	512.7159	23.51363	539.3718	14.25064	93.95317	
AM 04B 08	14.34877	44.82829	801.2579	353.06	2.269467	0.633008	4.971608	0.080162	4.276211	0.860126	0.057272	2.535922	497.0877	21.25652	497.9677	24.757	502.0152	12.73071	99.01846	

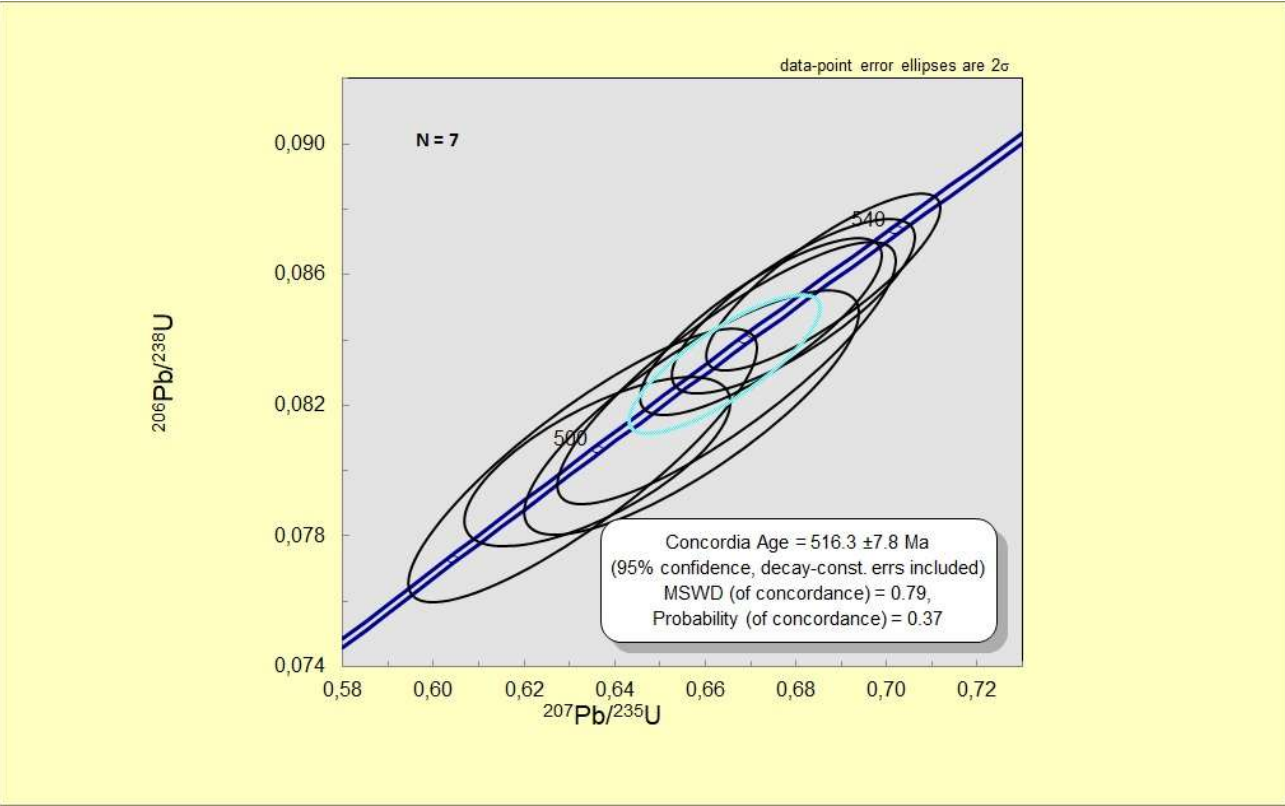


Figura 27: Diagrama concórdia para a amostra AM 04, indicando idade 516 +/- 8 Ma, MSWD = 0,79 e probabilidade de concordância de 0,37.

Amostra AM 05:

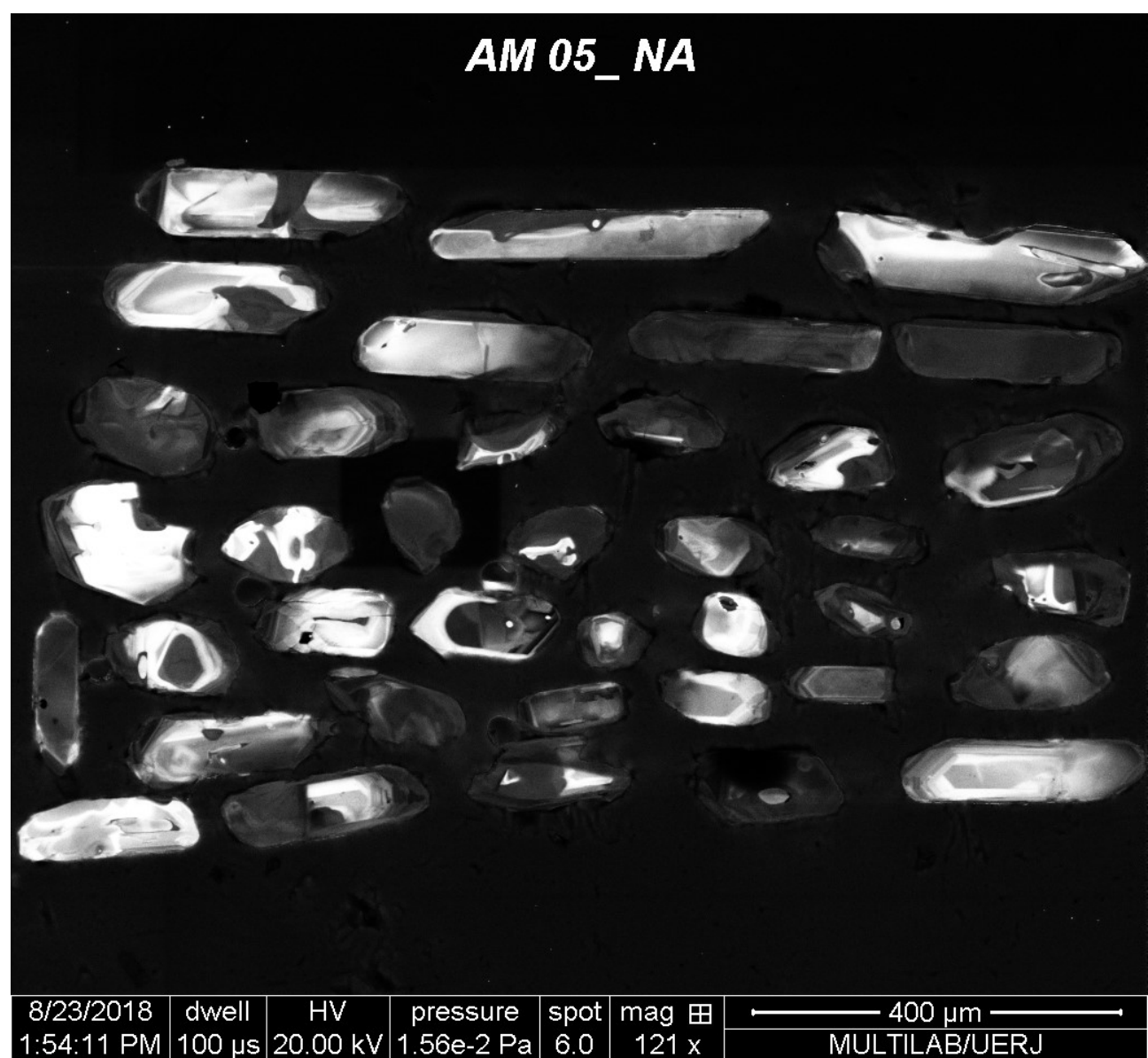


Figura 28: Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 05 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.

Tabela 9: Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 05.

								Isotope ratios/c							Ages (Ma)					
Spot number	Pb	Th	U		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	%	
	f 206a	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs		235U	abs	206Pb	abs	Concf	
AM 05 03	16.8909	10.14213	72.54857	123.1121	0.589289	0.624228	4.961889	0.079723	3.388624	0.68293	0.056789	3.624578	494.4668	16.75562	492.4938	24.43699	483.3294	17.51865	102.3043	
AM 05 05	17.00564	11.01632	131.1826	121.5079	1.079622	0.611477	3.516901	0.078401	2.544166	0.723411	0.056566	2.428129	486.5728	12.37922	484.491	17.03907	474.6544	11.52522	102.511	
AM 05 06	17.6802	13.86793	102.884	163.5435	0.629093	0.611751	4.00769	0.078129	3.215125	0.802239	0.056789	2.392603	484.9436	15.59154	484.6641	19.42384	483.3425	11.56447	100.3313	
AM 05 07	17.69089	20.07307	138.1696	235.6434	0.58635	0.631681	3.572196	0.079983	2.8835	0.807206	0.057279	2.108558	496.022	14.30279	497.1427	17.75891	502.3064	10.59142	98.7489	
AM 05 09	16.2354	6.282511	87.99732	69.91919	1.258558	0.614919	4.618673	0.078424	3.296887	0.713817	0.056868	3.234605	486.7082	16.04622	486.6578	22.47713	486.4206	15.73379	100.0591	
AM 05 10	17.31141	11.17511	95.22886	93.45958	1.018931	0.649841	4.718083	0.082368	4.13507	0.87643	0.05722	2.271894	510.2411	21.09883	508.381	23.98584	500.0225	11.35998	102.0436	
AM 05 11	15.72884	7.748324	95.57313	62.13751	1.538091	0.640983	5.295307	0.080773	4.057929	0.766326	0.057555	3.401983	500.7327	20.31938	502.9143	26.63086	512.8515	17.44712	97.63698	
AM 05 12	16.89941	9.7065	67.77058	86.11474	0.78698	0.638929	5.09051	0.080922	4.212142	0.82745	0.057264	2.858523	501.6253	21.12917	501.6428	25.53618	501.7227	14.34186	99.98058	
AM 05 13	2.766961	18.0298	103.5339	260.9253	0.396795	0.647213	4.32265	0.082269	4.104817	0.949607	0.057057	1.354908	509.6525	20.9203	506.762	21.90555	493.7378	6.689693	103.2233	
AM 05 14	13.23158	10.52725	200.1647	73.66324	2.717295	0.656958	5.15662	0.082733	3.949696	0.765947	0.057591	3.315212	512.4143	20.23881	512.7514	26.44064	514.2542	17.04862	99.64222	
AM 05 15	5.813359	5.687188	87.28455	60.77809	1.436119	0.632337	5.361799	0.08017	3.830044	0.714321	0.057205	3.752286	497.1392	19.04065	497.5507	26.67767	499.4444	18.74058	99.53846	
AM 05 16	0.211584	10.15712	82.88824	168.1986	0.4928	0.642281	4.199559	0.08137	3.889132	0.926081	0.057248	1.584599	504.2946	19.61268	503.7176	21.15392	501.0979	7.940393	100.6379	
AM 05 17	8.925648	9.762288	182.4101	85.7534	2.127147	0.653437	4.659928	0.081814	3.682794	0.790311	0.057926	2.855163	506.9411	18.6696	510.5914	23.79319	526.9699	15.04585	96.19926	

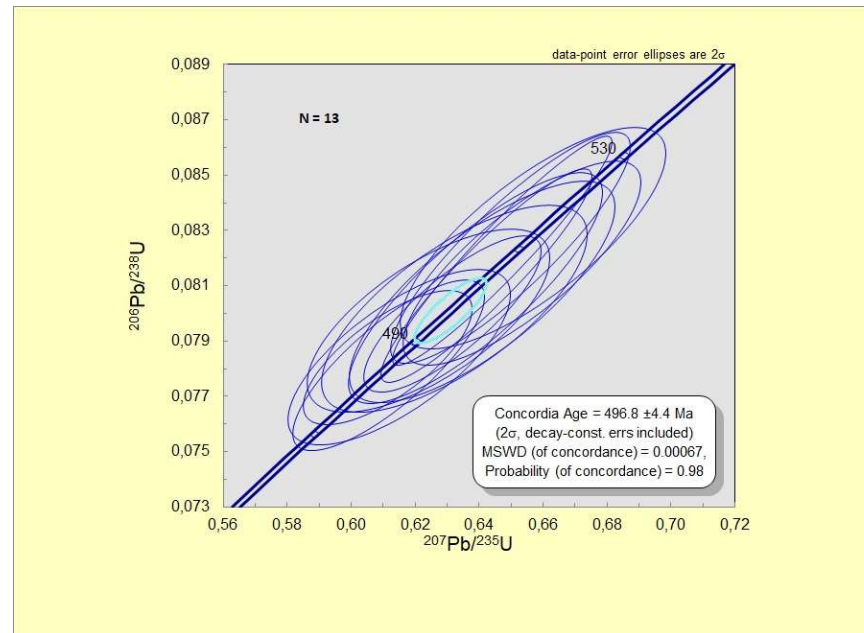


Figura 29: Diagrama concórdia para a amostra AM 05, indicando idade 497 +/-4 Ma, MSWD = 0,00067 e probabilidade de concordância de 0,98.

5.1.1.3. Fácies Hololeucocrática

As amostras AM 01 e AM 08 são representantes desta fácies do granito Pedra Branca.

Amostra AM 01:

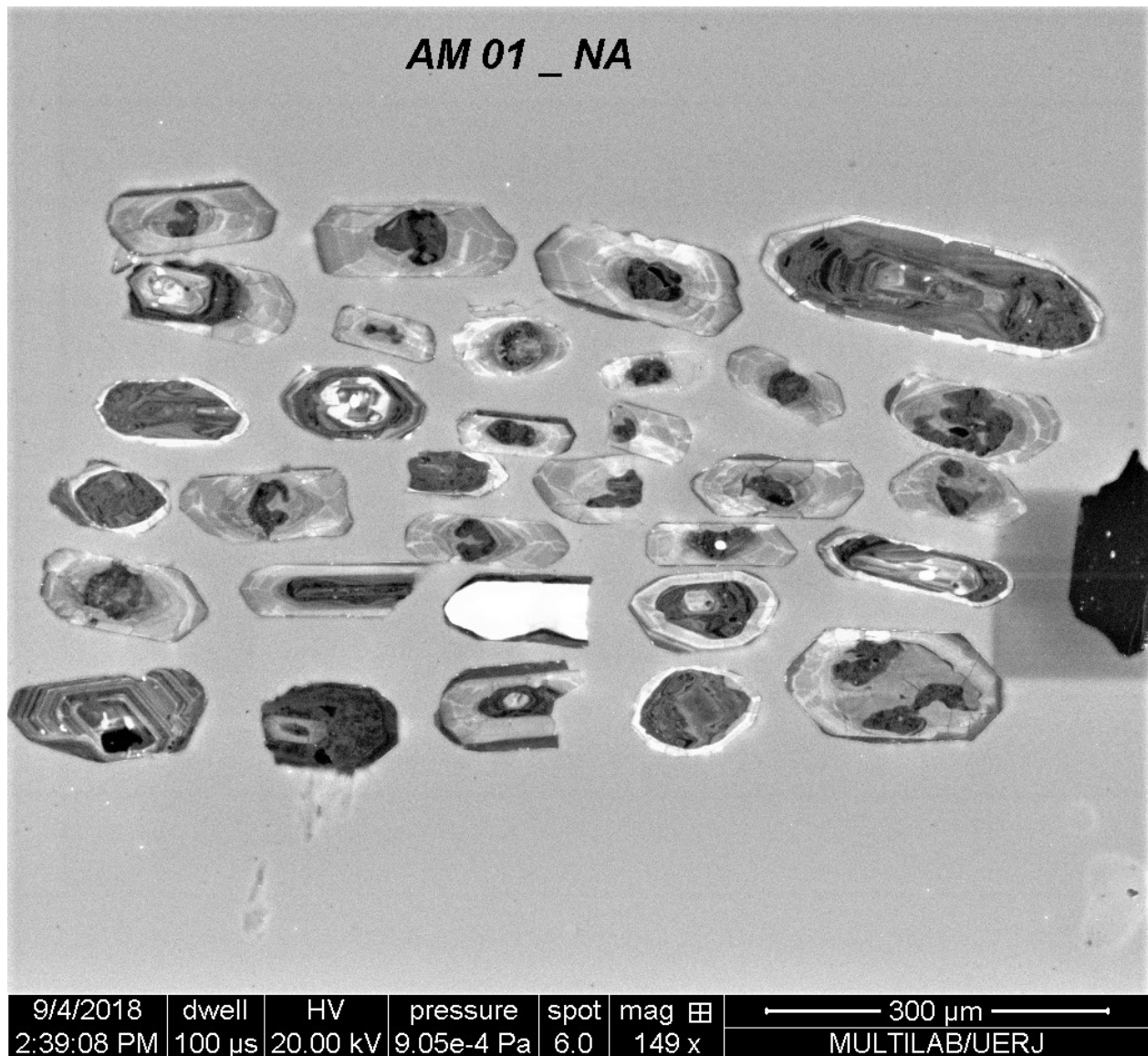


Figura 30: Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 01 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.

Tabela 10: Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 01.

									Isotope ratios/c							Ages (Ma)				
Spot number	Pb	Th	U		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	%	
f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs		235U	abs	206Pb	abs	Concf	
AM 01	18,59819	27,36507	39,27684	317,0697	0,123874	0,651805	3,995417	0,082568	3,325307	0,83228	0,057253	2,21488	511,4354	17,0068	509,5887	20,36019	501,3108	11,10343	102,0196	
AM 01	18,80194	30,27595	25,60784	365,6954	0,070025	0,644084	2,757952	0,081317	1,942753	0,704419	0,057446	1,957551	503,9789	9,791066	504,8316	13,92301	508,6974	9,958013	99,07244	
AM 01	18,49728	23,05176	70,02064	273,4391	0,256074	0,641941	2,696074	0,08054	1,722112	0,638748	0,057807	2,074402	499,3435	8,599255	503,5075	13,57494	522,4727	10,83819	95,57313	
AM 01	18,4051	20,26207	53,79137	241,1071	0,223102	0,651162	2,570009	0,081472	1,544198	0,600853	0,057967	2,05436	504,9008	7,796671	509,1935	13,08632	528,5173	10,85765	95,53155	
AM 01	18,26351	13,54424	34,07027	160,341	0,212486	0,665708	3,090808	0,082216	1,718599	0,556036	0,058726	2,568951	509,3351	8,753428	518,0992	16,01345	556,9354	14,3074	91,45317	
AM 01	18,57332	23,10133	38,51561	275,7608	0,13967	0,674539	2,987021	0,084906	2,20682	0,738803	0,057619	2,013018	525,3424	11,59336	523,4683	15,63611	515,3011	10,3731	101,9486	

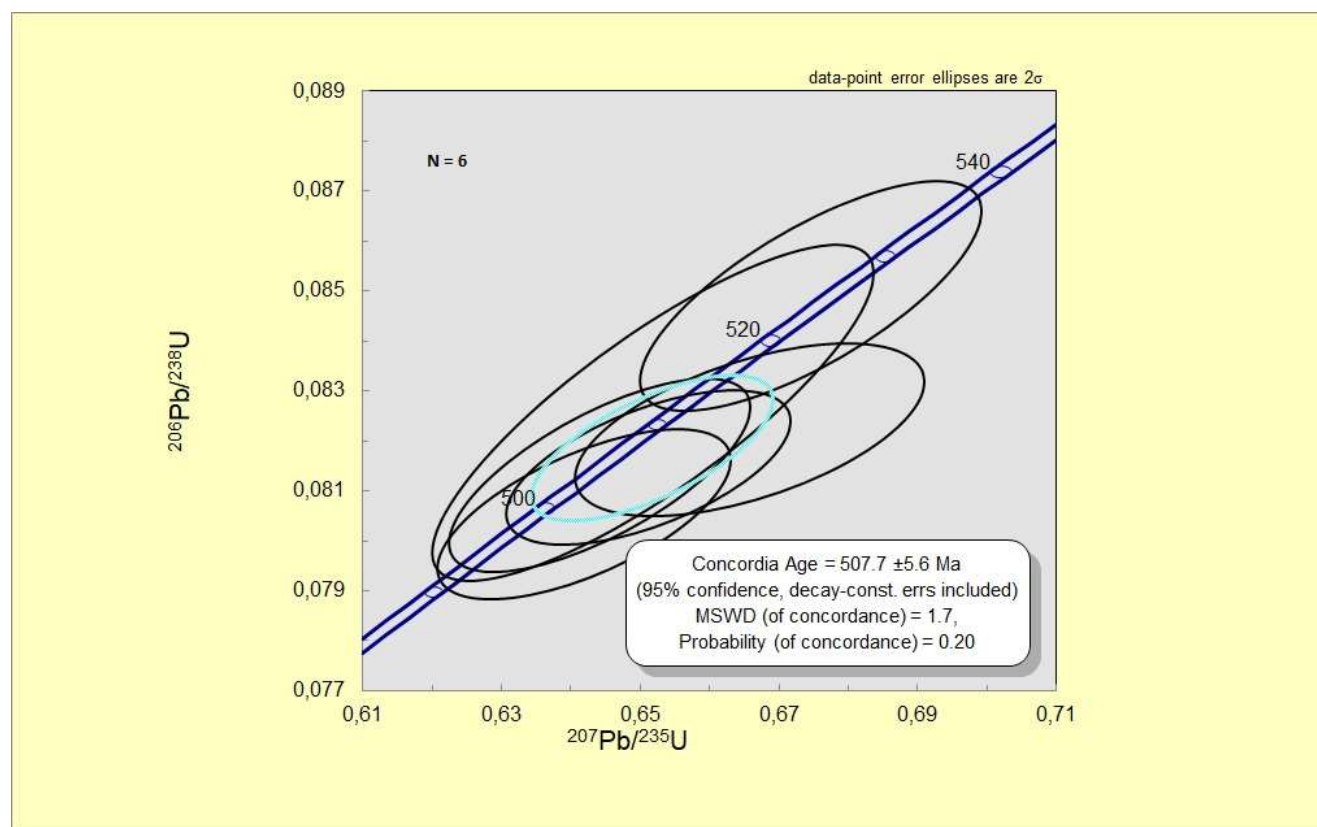


Figura 31: Diagrama concórdia para a amostra AM 01, indicando idade 508 $\pm$ 6 Ma, MSWD = 1,7 e probabilidade de concordância de 0,20.

Amostra AM 08:

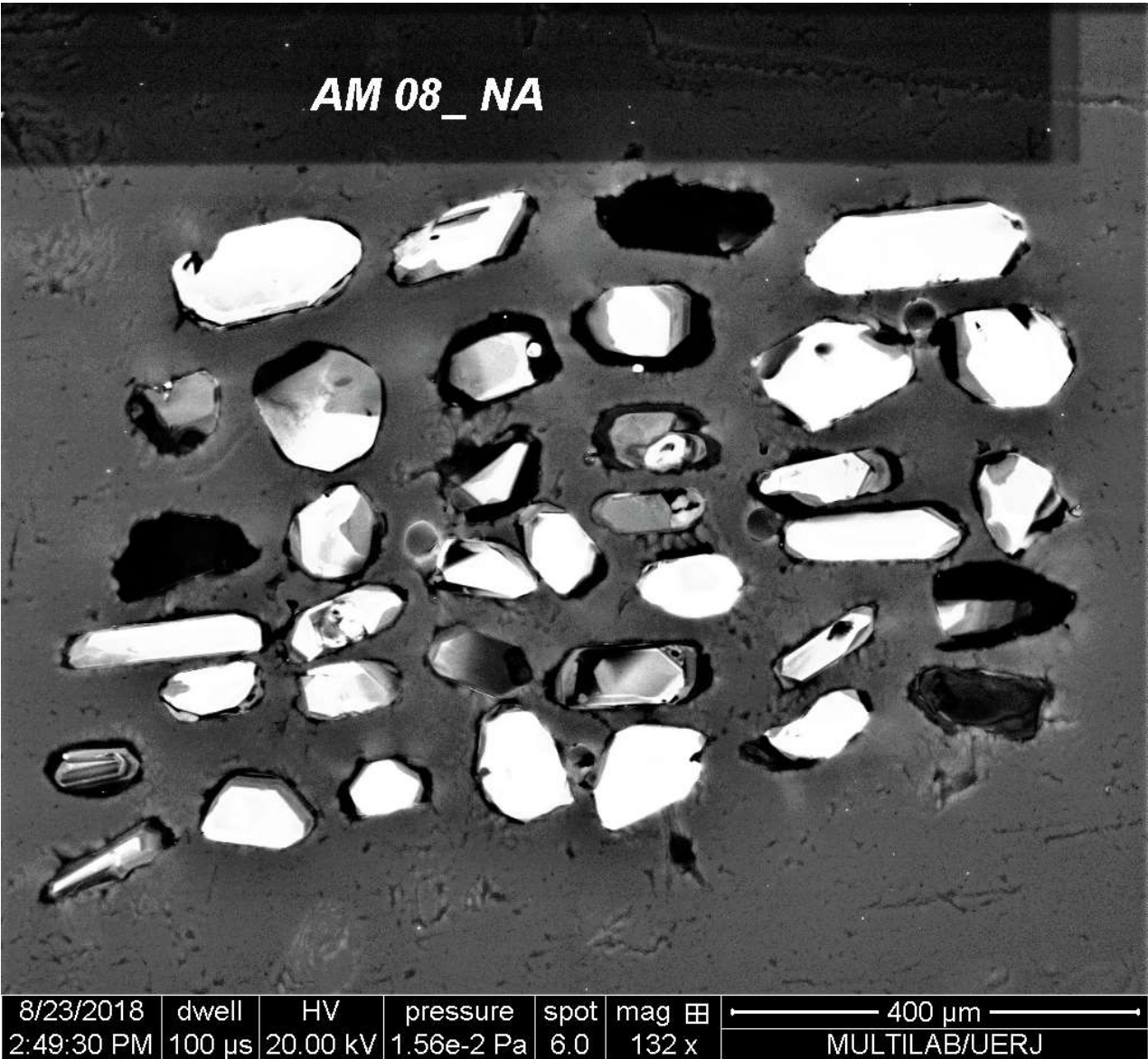


Figura 32: Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 08 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.

Tabela 11: Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 08.

Spot number					Isotope ratios										Ages (Ma)				%
	Pb		Th	U	Th/Ub	207Pb/ 235U	1 s	206Pb/ 238U	1 s	Rhod	207Pb/ 206Pbe	1 s	206Pb/ 238U	1 s	207Pb/ 235U	1 s	207Pb/ 206Pb	1 s	
	f 206a	ppm	ppm	ppm		235U	[%]	238U	[%]		206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs	Concf
AM 08 12	15,24146	5,1	65,6	29,4	2,2	0,649937	6,392325	0,079882	3,974917	0,621827	0,059009	5,006181	495,4186	19,69248	508,44	32,50114	567,4413	28,40714	87,30747
AM 08 14	15,86476	6,2	63,3	38,3	1,7	0,638819	6,086652	0,079636	3,628548	0,596148	0,05818	4,886816	493,9467	17,92309	501,5749	30,52912	536,5283	26,21915	92,06349
AM 08 15	16,3259	6,6	65,9	39,8	1,7	0,640562	5,921701	0,07806	3,214991	0,542917	0,059516	4,972964	484,532	15,57766	502,6541	29,76567	586,0151	29,14232	82,68251
AM 08 16	15,01285	3,4	44,5	20,2	2,2	0,656386	6,86099	0,07874	3,267302	0,476214	0,060459	6,03307	488,5982	15,96398	512,4007	35,15577	620,0456	37,40778	78,80037
AM 08 03	15,12849	4,8	61,2	32,3	1,9	0,636987	5,100022	0,079168	3,717164	0,728853	0,058355	3,491836	491,1559	18,25707	500,4391	25,5225	543,1185	18,96481	90,43255
AM 08 06	15,23067	6,1	70,0	41,8	1,7	0,656616	6,276335	0,08026	3,508709	0,559038	0,059335	5,203974	497,6719	17,46186	512,5419	32,16885	579,4219	30,15297	85,8911
AM 08 09	17,71395	31,8	148,5	239,9	0,6	0,642395	3,732178	0,081324	3,394706	0,909578	0,05729	1,550846	504,0237	17,11012	503,7881	18,80227	502,7184	7,796386	100,2596

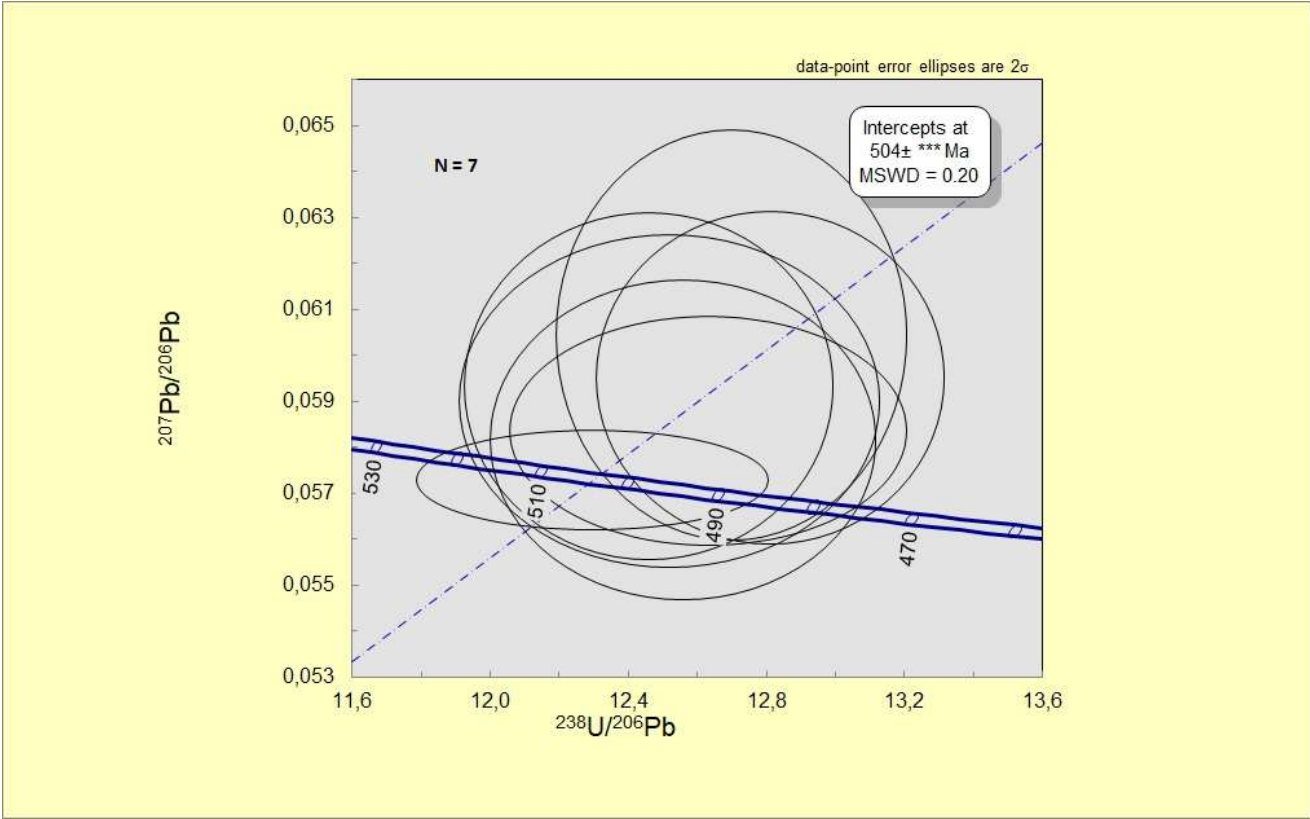


Figura 33: Diagrama concórdia inversa para a amostra AM 08, indicando idade 504 Ma, MSWD = 0,20.

5.1.2. Granito Favela

As amostras AM 07 e AM 09 são as representantes desta litologia.

Amostra AM 07:

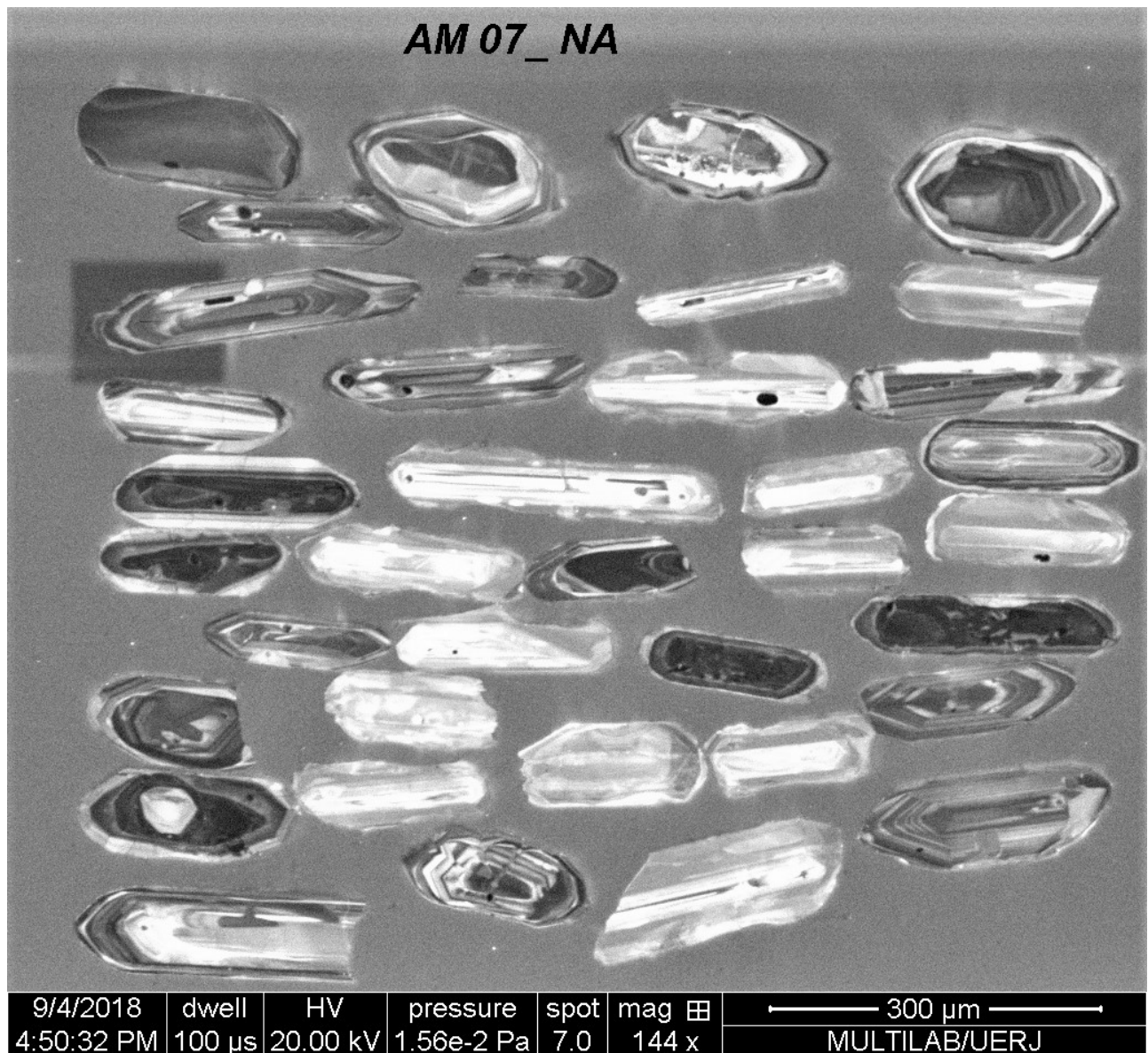


Figura 34: Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 07 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.

Tabela 12: Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 07.

									Isotope ratios							Ages (Ma)				
Spot number		Pb	Th	U		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	%	
	f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs	Concf	
AM 07 01	17.92473	22.41471	178.2366	257.6568	0.691759	0.633232	3.060936	0.080104	2.660609	0.869214	0.057334	1.513436	496.741	13.21633	498.1072	15.24674	504.3903	7.633627	98.48345	
AM 07 03	18.01043	22.53953	146.5539	266.0071	0.55094	0.624578	2.973313	0.079339	2.614606	0.879358	0.057095	1.415776	492.1783	12.86852	492.7128	14.64989	495.1982	7.010899	99.39016	
AM 07 06	17.85128	42.7364	260.8504	486.807	0.53584	0.641899	2.449449	0.081424	2.075707	0.847418	0.057176	1.300478	504.6172	10.47437	503.4811	12.33251	498.3218	6.480566	101.2633	
AM 07 07	16.89862	11.81249	161.8472	130.1971	1.243094	0.622111	4.486975	0.078992	2.532228	0.564351	0.057119	3.704156	490.1042	12.41056	491.1694	22.03865	496.1397	18.37779	98.78351	
AM 07 08	17.84127	29.40401	191.2263	338.774	0.564466	0.623868	2.609793	0.078955	2.159193	0.827342	0.057308	1.465915	489.8798	10.57745	492.2687	12.84719	503.3981	7.379389	97.31459	
AM 07B 07	16.85324	11.65419	108.5497	78.45699	1.383556	0.6397	3.829588	0.082434	1.536137	0.401123	0.056282	3.507994	510.6355	7.844062	502.1201	19.22913	463.5009	16.25958	110.1693	
AM 07B 08	18.13492	31.95873	117.8304	235.4199	0.500512	0.645516	2.527177	0.081837	1.593615	0.630591	0.057208	1.96138	507.076	8.08084	505.7158	12.78033	499.5683	9.798433	101.5028	

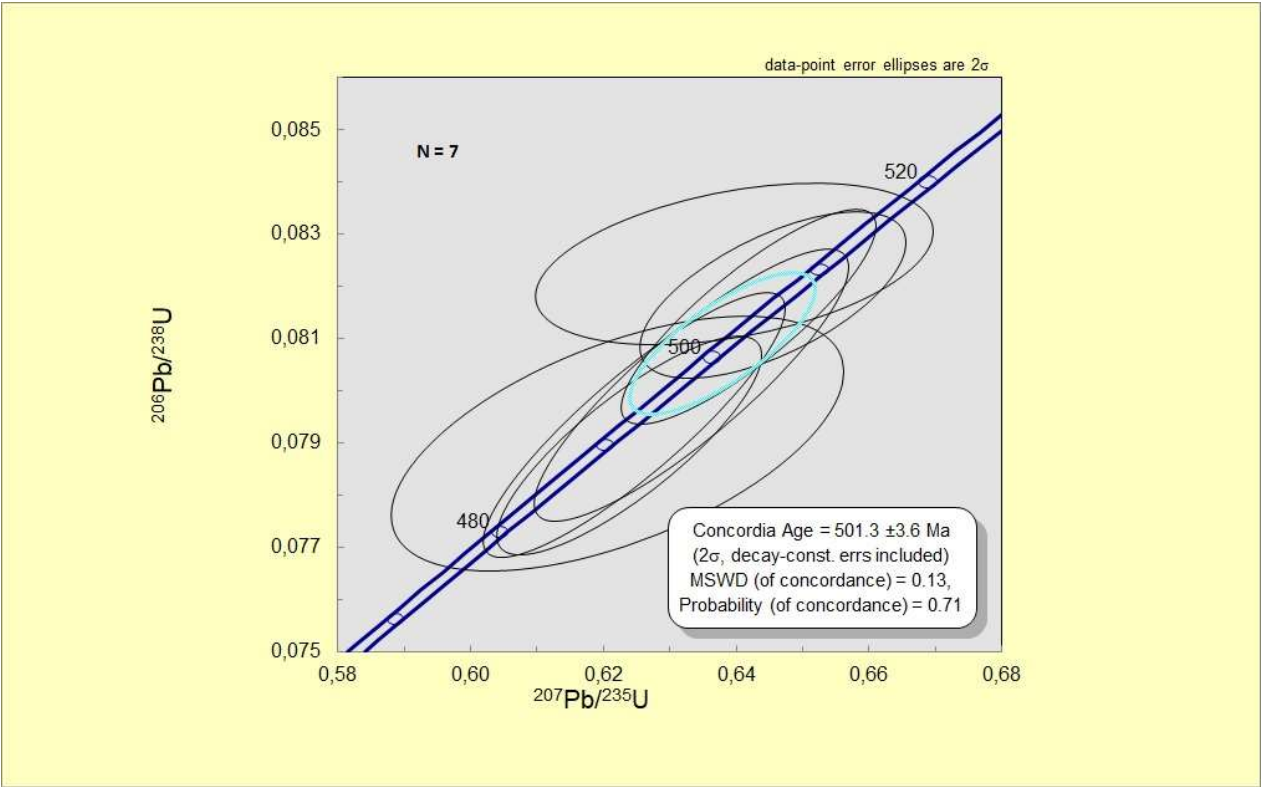


Figura 35: Diagrama concórdia para a amostra AM 07, indicando idade 501 +/- 4 Ma, MSWD = 0,13 e probabilidade de concordância = 0,71.

Amostra AM 09:

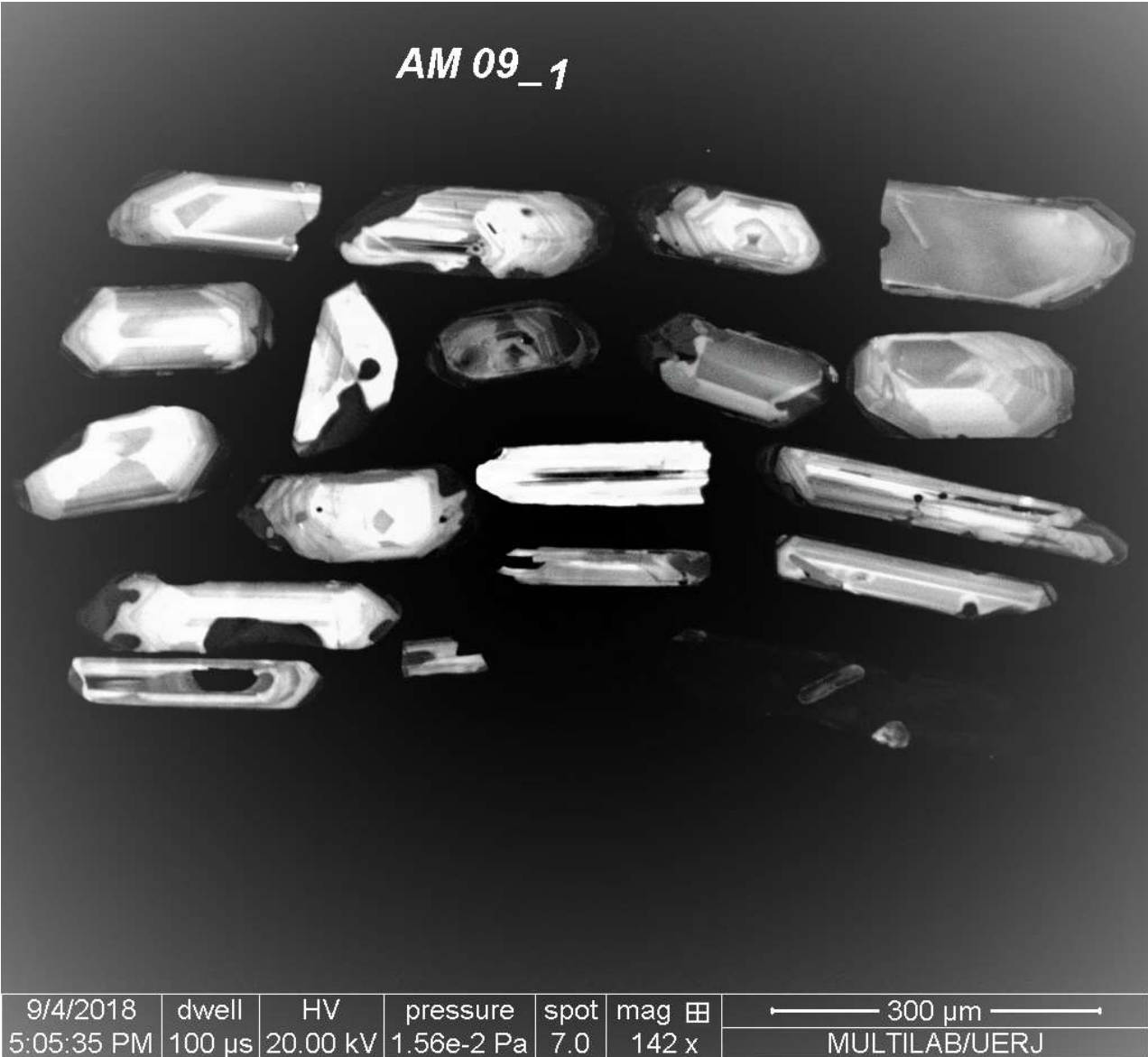


Figura 36: Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 09 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.

Tabela 13: Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 09.

									Isotope ratios							Ages (Ma)						
Spot number	Pb	Th	U		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	207Pb/	1 s				
f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs	Concf				
AM 09 01	12.27945	4.387304	82.36386	32.7703	2.513369	0.604636	11.52473	0.078062	5.256533	0.456109	0.056176	10.25613	484.5456	25.4703	480.1714	55.33845	459.337	47.1102	105.488			
AM 09 02	12.66885	5.131647	98.57495	38.35529	2.570048	0.618195	11.90183	0.079535	4.346422	0.365189	0.056372	11.07981	493.3495	21.44305	488.7153	58.16609	467.0488	51.74814	105.6313			
AM 09 03	13.03831	6.922416	128.1658	50.67456	2.529195	0.604246	8.604735	0.079971	4.158292	0.483256	0.0548	7.533265	495.9524	20.62315	479.9245	41.29623	404.0549	30.43852	122.7438			
AM 09 09	13.17242	5.399745	93.089	41.57576	2.239021	0.626441	9.180227	0.076918	4.429858	0.482543	0.059068	8.040704	477.6977	21.16133	493.8763	45.33897	569.6082	45.80051	83.86427			
AM 09B 06	13.13723	5.740993	105.6446	42.79018	2.468899	0.609633	12.27551	0.077235	4.046852	0.329669	0.057247	11.58927	479.5983	19.40863	483.3288	59.33106	501.0602	58.0692	95.71671			
AM 09B 05	16.08983	25.9025	204.1047	222.4964	0.917339	0.614688	5.620521	0.078696	4.624233	0.822741	0.05665	3.194797	488.336	22.5818	486.5127	27.34455	477.9336	15.26901	102.1765			
AM 09B 02	14.07957	5.384564	70.17733	43.18116	1.625184	0.631994	8.889418	0.080739	5.002269	0.562722	0.056771	7.348405	500.5336	25.03803	497.3372	44.21038	482.6516	35.4672	103.7049			

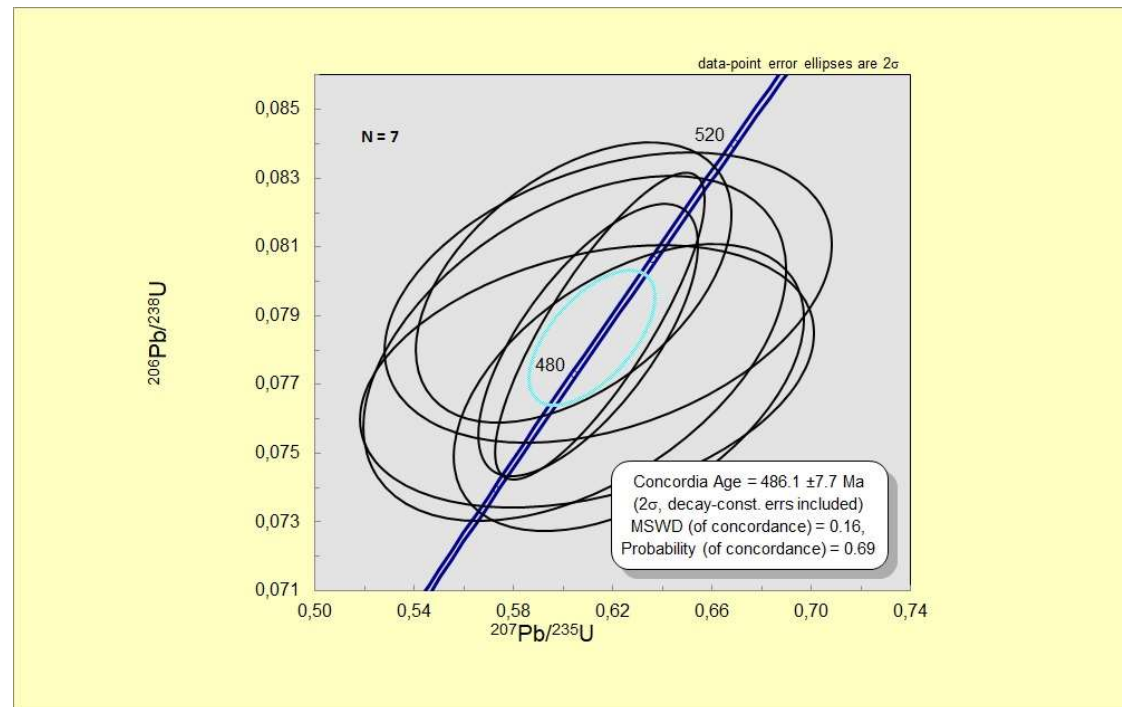


Figura 37: Diagrama concórdia para a amostra AM 09, indicando idade 486 +/- 8 Ma, MSWD = 0,16 e concordância de 0,69.

5.1.3. Tonalito Tachas

A amostra AM 02 é a representante desta litologia.

AM 02:

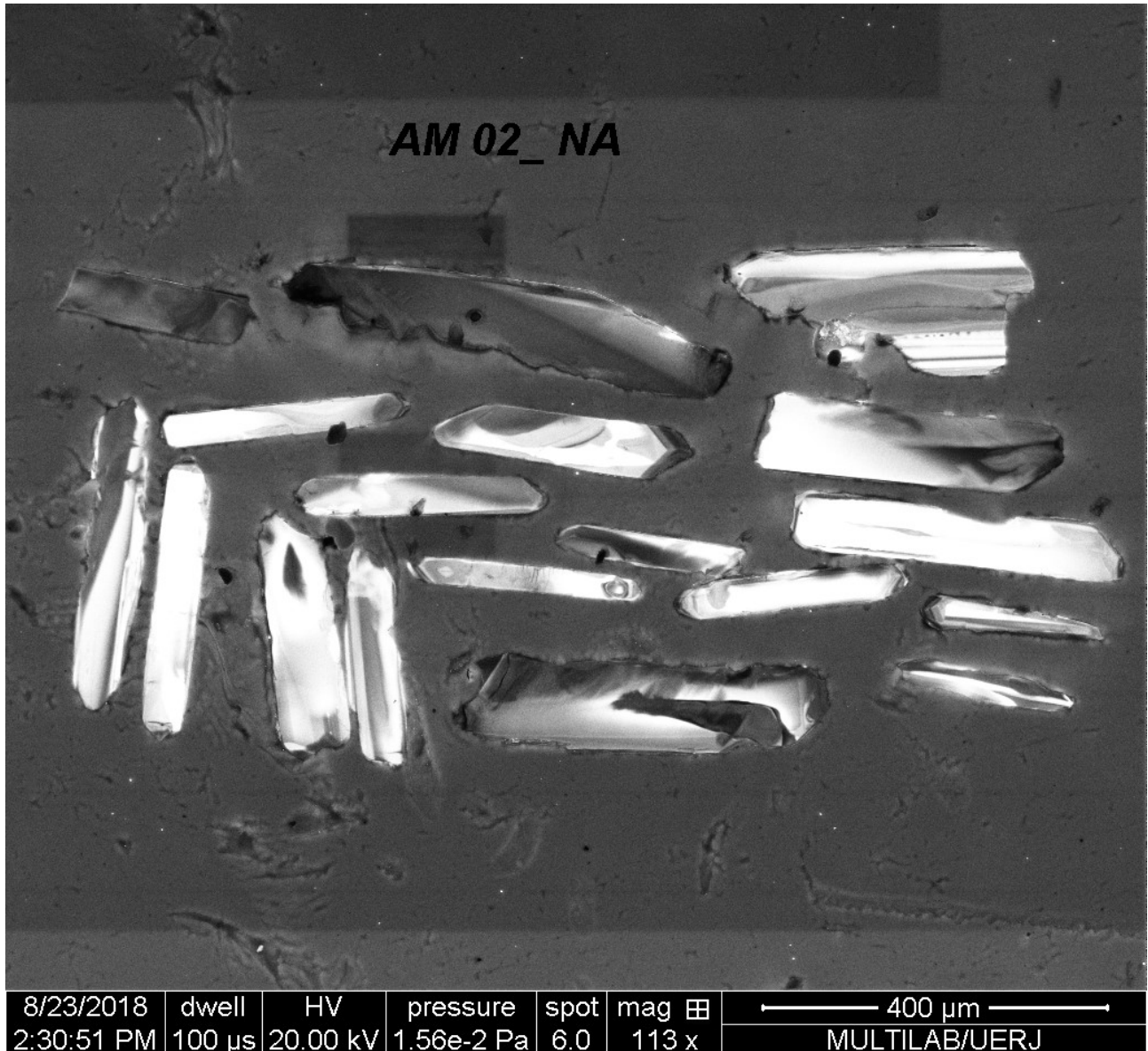


Figura 38: Exemplo de imagem de assembleia de zircões da amostra AM 02 obtida por catodoluminescência em MEV utilizada para escolha dos grãos que receberam o tiro.

Tabela 14: Valores obtidos nas análises geocronológicas para a amostra AM 02.

									Isotope ratios/c						Ages (Ma)				
Spot number	Pb	Th	U		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	%
	f 206a	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs		235U	abs	206Pb	abs	Concf
AM 02 01	16.42751	3.99087	56.22019	44.4419	1.265027	0.648967	10.96759	0.081759	10.2468	0.93428	0.057569	3.910387	506.6136	51.91168	507.843	55.69814	513.3834	20.07528	98.68132
AM 02 02	17.01433	11.19703	162.5145	120.8916	1.344299	0.646656	10.20987	0.082279	9.91015	0.970644	0.057001	2.455677	509.7136	50.51338	506.4187	51.70469	491.565	12.07125	103.692
AM 02 03	14.77142	7.489742	205.6803	71.53431	2.875267	0.621495	10.52681	0.079289	10.22718	0.971536	0.056849	2.493703	491.8762	50.30505	490.7839	51.66389	485.6892	12.11165	101.2739
AM 02 06	14.6319	15.10863	419.3961	140.6482	2.981881	0.637373	10.28461	0.080507	10.08534	0.980625	0.05742	2.014721	499.1455	50.34054	500.6787	51.49286	507.6925	10.22859	98.3165
AM 02 07	17.6912	10.01602	96.45358	114.8547	0.839788	0.637217	10.42341	0.081125	10.19204	0.977803	0.056968	2.183993	502.8323	51.24886	500.5819	52.17771	490.3072	10.70828	102.5545
AM 02 09	16.15354	12.15465	222.3336	132.6827	1.675678	0.632336	10.38436	0.08032	10.13365	0.975857	0.057098	2.26805	498.0318	50.46879	497.5502	51.66738	495.3347	11.23444	100.5445
AM 02 10	14.29682	13.99291	276.1608	94.89597	2.910143	0.632223	5.18888	0.080191	4.690802	0.90401	0.05718	2.2183	497.2609	23.32552	497.4797	25.81363	498.4866	11.05793	99.75411
AM 02 12	14.15139	8.340807	167.5851	57.23999	2.927763	0.636897	4.356589	0.08126	3.736211	0.8576	0.056845	2.240668	503.6368	18.81693	500.3835	21.79965	485.5318	10.87915	103.7289
AM 02 14	14.46844	11.0208	217.9358	77.80542	2.801037	0.628766	4.256926	0.080169	3.574492	0.839689	0.056883	2.3118	497.1342	17.77002	495.3271	21.08571	486.9823	11.25806	102.0847
AM 02 17	14.60157	17.47172	327.2614	126.6542	2.583897	0.62395	4.211234	0.079649	3.660294	0.869174	0.056815	2.082484	494.0293	18.08293	492.3202	20.73276	484.3771	10.08708	101.9927
AM 02 18	14.8513	34.70992	581.1894	255.5096	2.274628	0.632343	4.047672	0.080055	3.869503	0.955982	0.057288	1.187685	496.4486	19.21009	497.5541	20.13936	502.6435	5.969821	98.76753

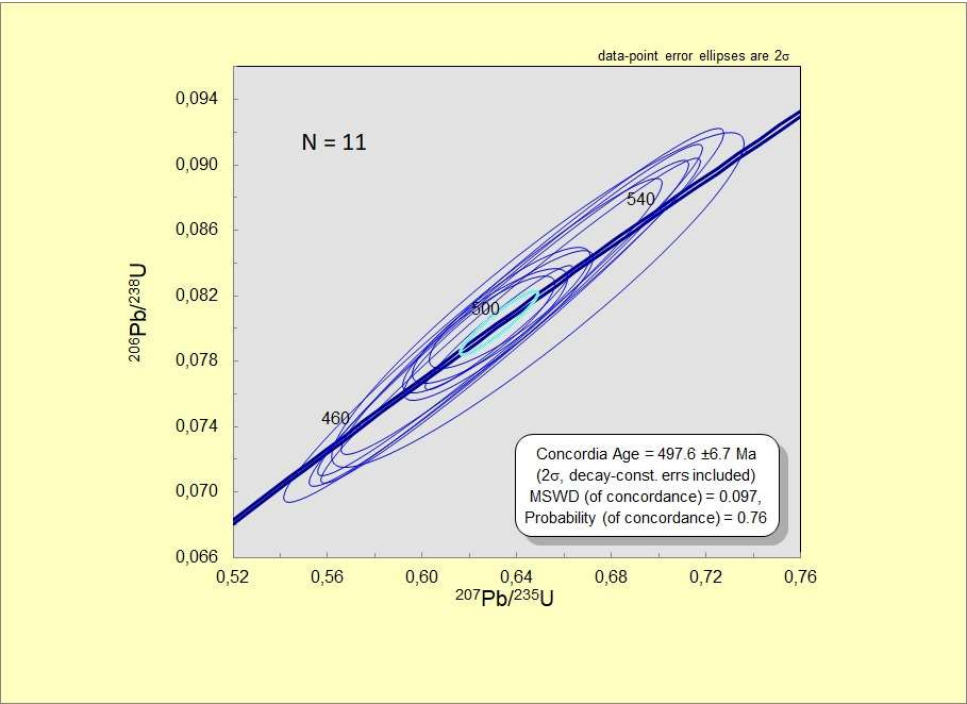


Figura 39: Diagrama concórdia para a amostra AM 02, indicando idade 498 +/- 7 Ma, MSWD = 0,097 e probabilidade de concordância de 0,76.

5.2. Lu-Hf

Na resina epóxi contendo as amostras AM 02, AM 05, AM 06, AM 08 e AM 10 foram realizadas as análises geocronológicas referentes ao método de datação Lu-Hf. Assim como no método U-Pb, os resultados gerados pelos tiros foram utilizados para construção de um diagrama que, neste caso, utiliza o indicador petrogenético ϵ_{Hf} para indicar uma possível fonte para a amostra selecionada. Neste método apenas o granito Favela não foi estudado.

AM 02:

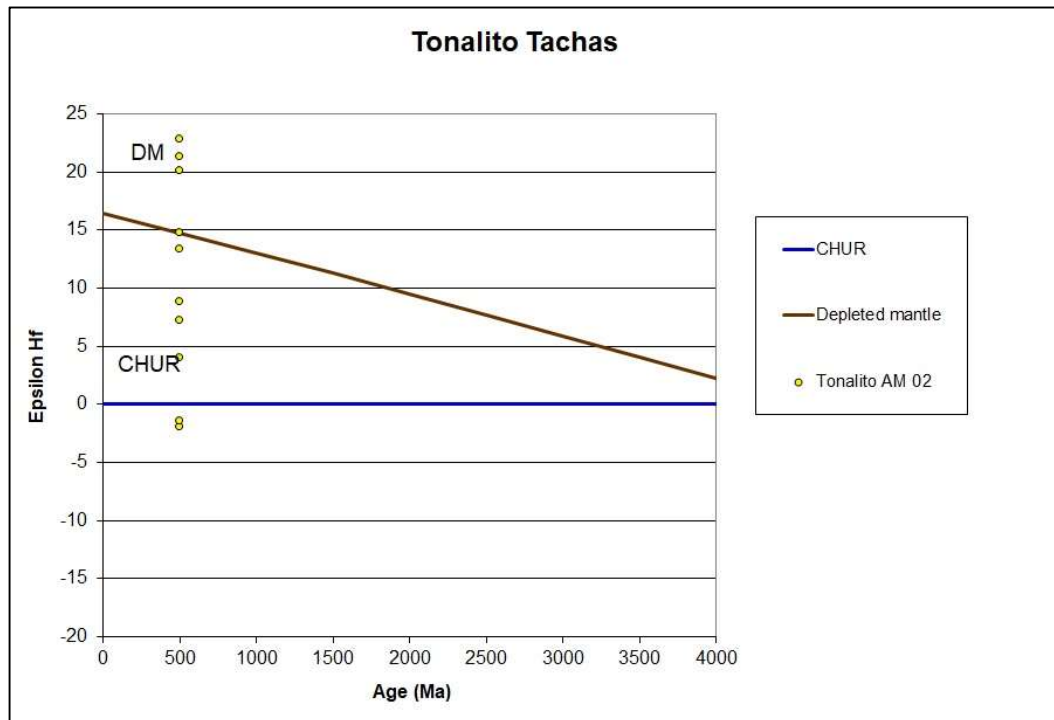


Figura 40: Diagrama indicando os valores encontrados de ϵ_{Hf} (eixo y) e idades U-Pb (eixo x) para a amostra AM 02.

AM 05:

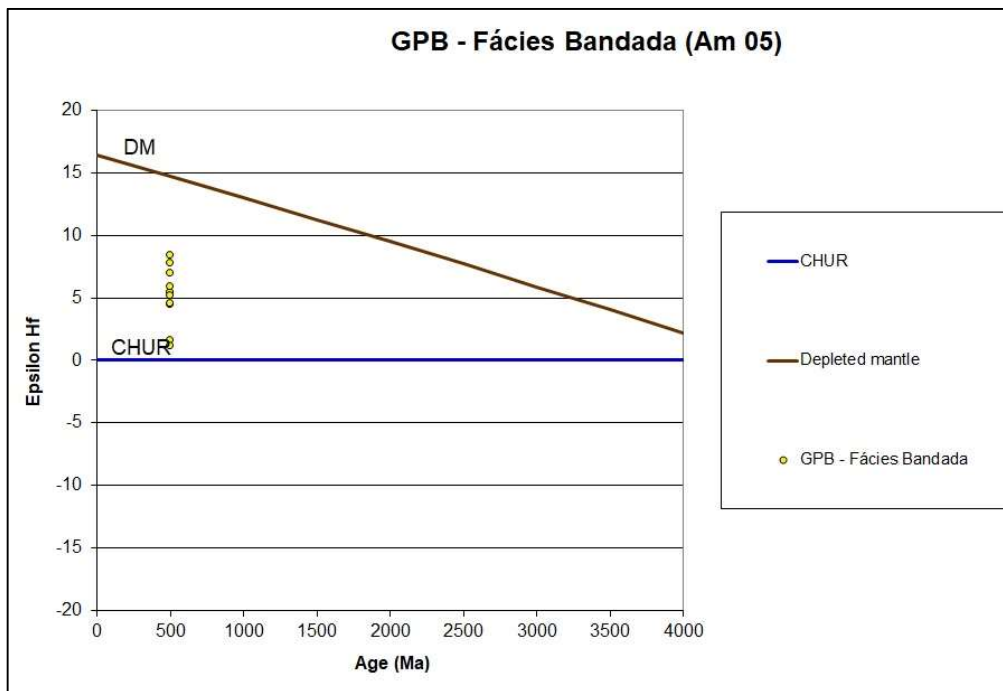


Figura 41: Diagrama indicando os valores encontrados de ϵHf (eixo y) e idades U-Pb (eixo x) para a amostra AM 05.

AM 06:

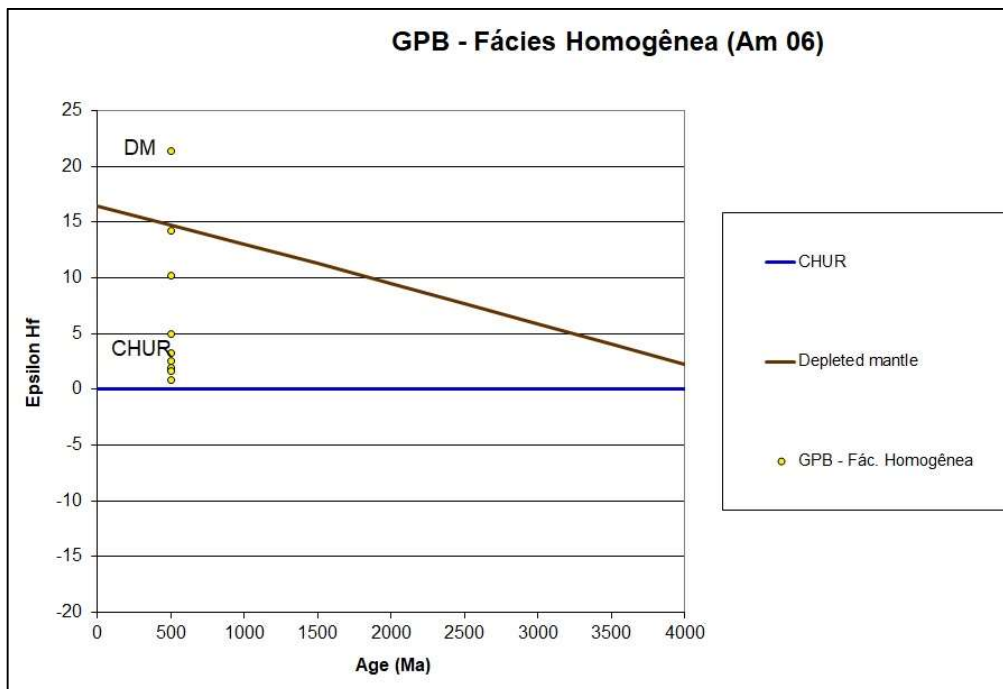


Figura 42: Diagrama indicando os valores encontrados de ϵHf (eixo y) e idades U-Pb (eixo x) para a amostra AM 06.

AM 08:

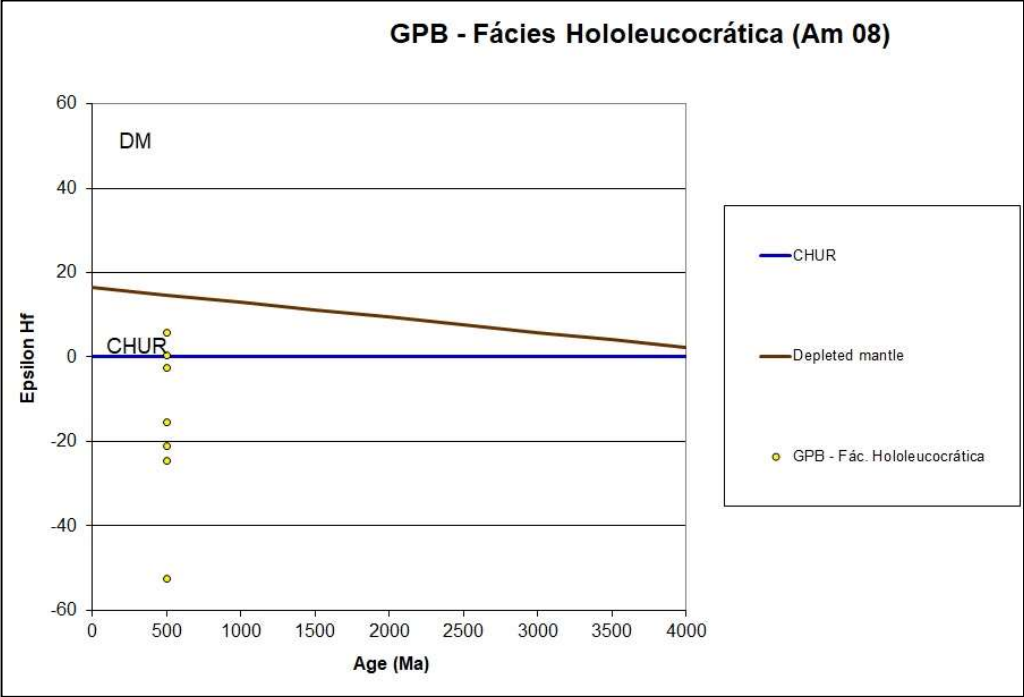


Figura 43: Diagrama indicando os valores encontrados de ϵ_{Hf} (eixo y) e idades U-Pb (eixo x) para a amostra AM 08.

AM 10:

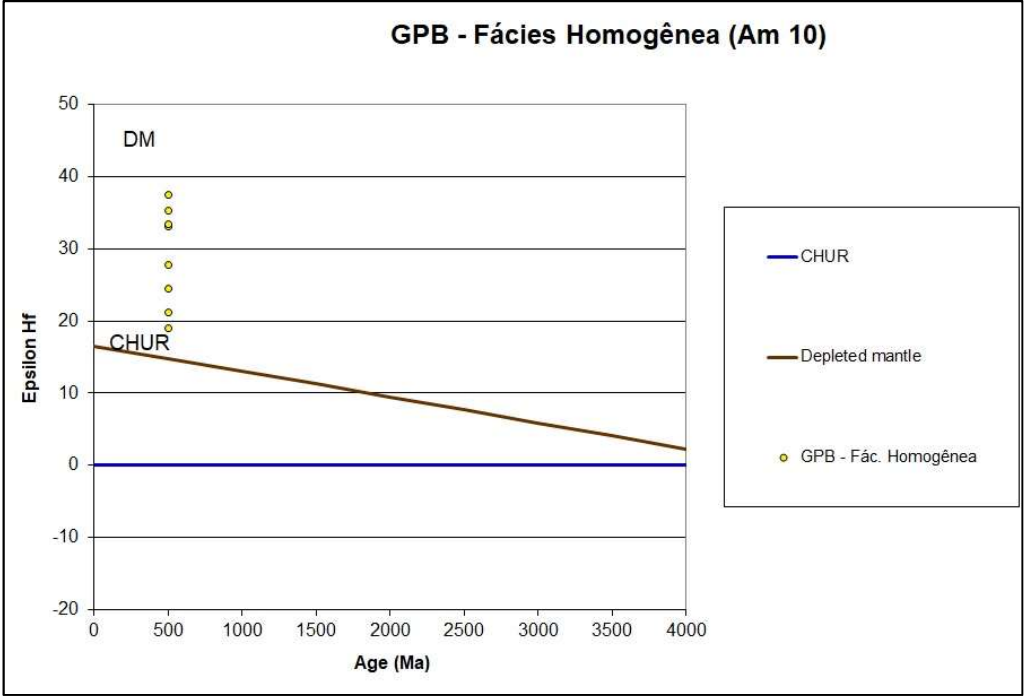


Figura 44: Diagrama indicando os valores encontrados de ϵ_{Hf} (eixo y) e idades U-Pb (eixo x) para a amostra AM 10.

Resumo geral:

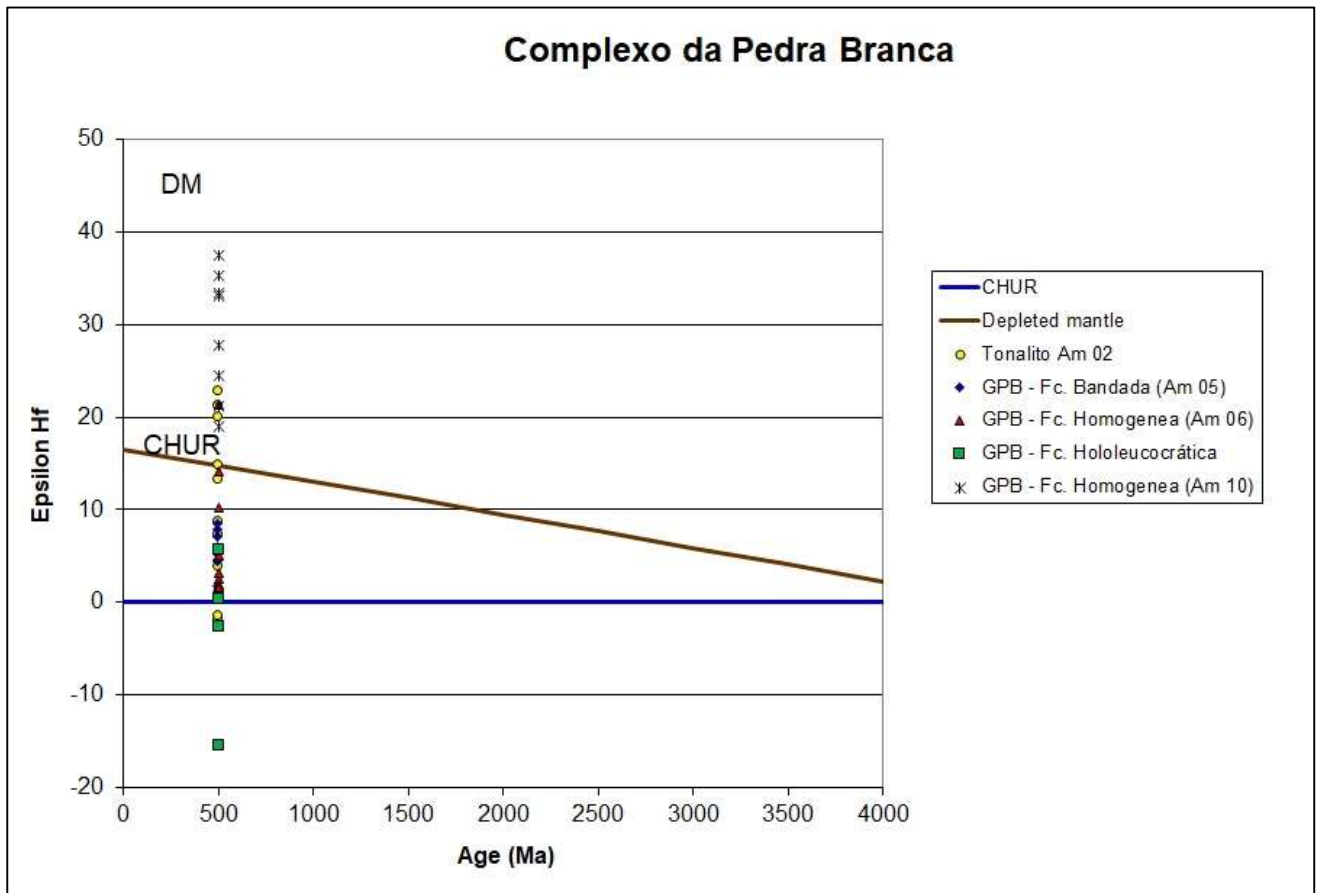


Figura 45: Diagrama indicando os valores encontrados de ϵ_{Hf} (eixo Y) e idades U-Pb (eixo X) para todas as amostras analisadas para o método Lu-Hf.

6 – Discussão e Conclusão

A **Tabela 15** apresenta um resumo das idades obtidas pelo método U-Pb neste trabalho.

Tabela 15: Idades obtidas pelo método U-Pb e suas respectivas litologias, fácies e setores.

Litologia	Fácies	Amostra	Idade (Ma)	Erro (Ma)	Sector	Idade Mínima (Ma)	Idade Máxima (Ma)
	Fácies M.Homogênea	AM 03	515	7	Norte	497	523
		AM 06	503	5	Sul		
		AM 10	505	7	Sul		
Granito Pedra Branca	Fácies Bandada	AM 04	516	8	Norte	493	524
		AM 05	497	4	Sul		
	Fácies Hololeucocrática	AM 01	508	6	Sul	502	514
		AM08	512	0	Norte		
Granito Favela		AM 07	501	4	Norte	478	505
		AM 09	486	8	Sul		
Tonalito Tachas		AM 02	498	7	Central	491	505

As idades U-Pb obtidas para o granito Pedra Branca se mostraram compatíveis com àquelas descritas na literatura por Porto Jr. (2004), que indicam idades em torno de 513 Ma. Os erros apresentados são aceitáveis para o método.

As idades relacionadas ao granito Favela também corroboraram com as descritas pelo mesmo autor, que correspondem a 480-490 Ma.

Em relação ao tonalito Tachas, apesar de não haver até então idade registrada para este granitoide, esperava-se encontrar idades mais antigas que a do granito Pedra Branca, já que foram observados xenólitos de rochas tonalíticas relacionados à intrusão granítica relacionada ao granito Pedra Branca. Entretanto, as idades encontradas neste trabalho para o tonalito Tachas indicaram uma idade correspondente ao magmatismo Pedra Branca. Isso pode ser justificado pela escolha da amostra, que talvez não seja a melhor representação para esta litologia e/ou pelos erros gerados pelo método. Cabe ressaltar, que Porto Jr (2004) reúne na denominação tonalito Tachas, rochas de composições e estruturas variáveis. Há ainda a possibilidade de que a amostra analisada se refira à ocorrência de um granitoide denominado informalmente de “granitoide Rosilha” que apresenta possíveis relações de cogeneticidade ao magmatismo Pedra Branca. O fato de apenas uma amostra desta litologia ter sido analisada faz com que não seja descartada a hipótese de que seja possível encontrar idades mais antigas que o granito Pedra Branca para outras rochas do denominado tonalito Tachas, de qualquer maneira, a idade encontrada neste trabalho não foi considerada inadequada. Fica implícita a necessidade de uma maior investigação químico-geocronológica para esse conjunto.

Os resultados encontrados a partir dos métodos U-Pb e Lu-Hf corroboraram com a discussão apresentada por Porto Jr. (2004) e Porto Jr. *et al* (2018) a respeito cogeneticidade e da origem

do acamamento magmático representado pela interdigitação das fácies Média-Homogênea e Hololeucocrática relacionadas ao magma Pedra Branca.

A partir da visualização da **Figura 46** e do gráfico exposto na **Figura 47** é possível perceber a cogeneticidade entre as duas, que demonstram uma alternância e proximidade nos valores das idades. As amostras AM 06 e AM 10, representantes da fácies Média-Homogênea, apresentaram valores positivos de ϵ_{Hf} , que indicam uma fonte de origem mantélica, ao contrário da amostra AM 08, representante da fácies Hololeucocrática, que foi a única entre as amostras analisadas que apresentou valores majoritariamente negativos de ϵ_{Hf} , indicando uma fonte com participação crustal, corroborando com a ideia de que processos cumuláticos iniciais, causados pelo fluxo de magma próximo às paredes da rocha encaixante, somado a ascensão de líquido intersticial por *filter pressing* (Mckenzie, 1987) para regiões de menor pressão, defendidos pelos autores, possa ser assumido como uma real possibilidade. A proximidade da percolação de fluídos próximos à encaixante, pode ter causado uma assimilação da mesma, diferenciando ainda mais o líquido residual, gerando os valores de ϵ_{Hf} negativos. Os valores positivos de ϵ_{Hf} encontrados para as amostras AM 02 e AM 05, representantes do magma Pedra Branca, indicam fontes mantélicas não contaminadas.

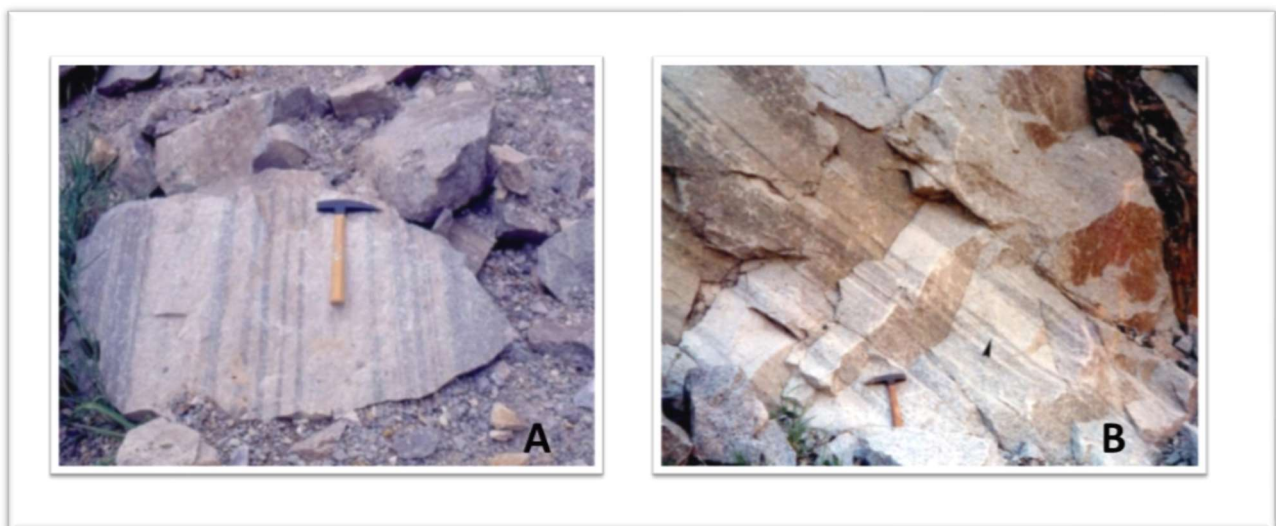


Figura 46: a) Padrão estrutural do acamamento magmático entre as fácies Média-Homogênea (mais máfica) e Hololeucocrática (mais félsica). b) Acamamento e interdigitação entre as mesmas. Procedência: Pedreira EMASA, Jabour, Bangu, Rio de Janeiro (Retirado de Porto Jr *et al.*, 2018).

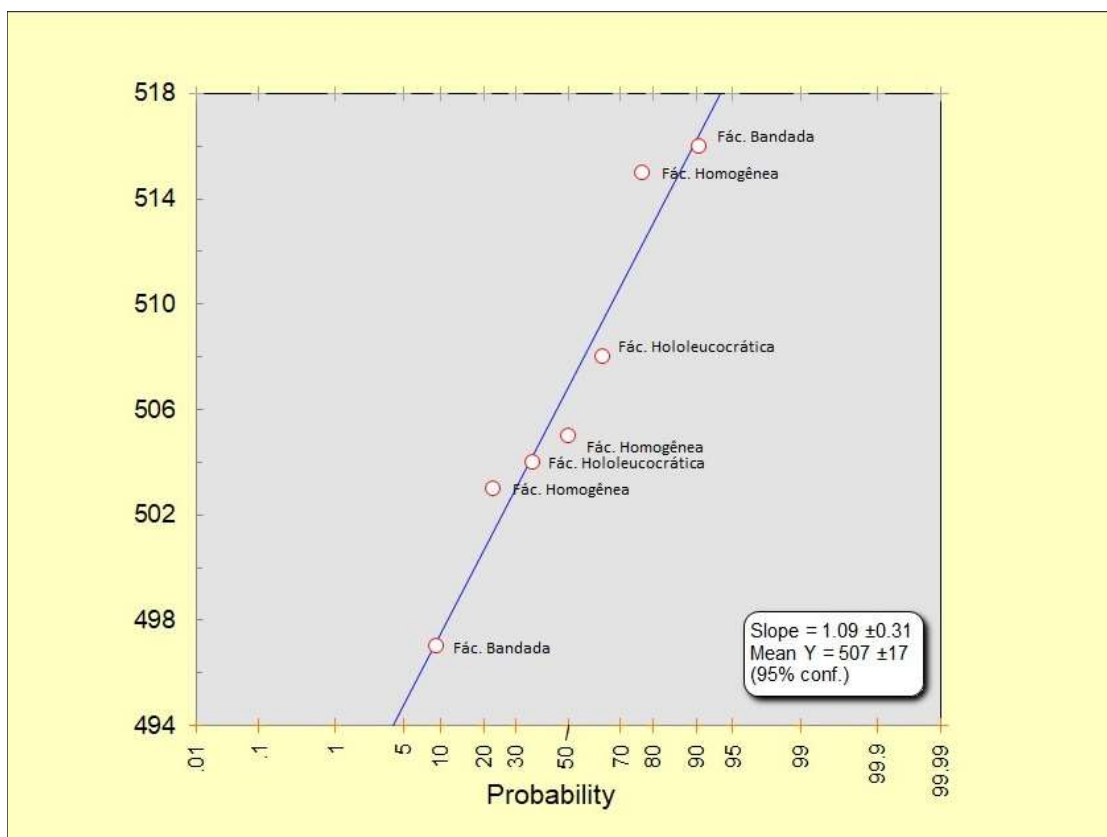


Figura 47: Diagrama relacionando as idades U-Pb encontradas para o granito Pedra Branca. Notar intercalação das fácies Hololeucocrática e Média-Homogênea.

A partir da comparação das idades U-Pb geradas em associação à localização das amostras, foi possível perceber que quatro, das cinco amostras que indicaram idades mais antigas (>510 Ma), estão localizadas no setor norte do maciço, o que pode indicar que a geração de magma ocorreu sob a forma de pulsos. Registre-se que a forma de “emplacemnt” relacionada a estas intrusões é do tipo “dique/sill”, formando de diques e soleiras espalhadas por todo o maciço, tornando possível sugerir que diferentes pulsos de magma, em diferentes áreas do maciço, possam ter acontecido em diferentes (mas não muito) idades.

A obtenção de dados gerados nesta pesquisa serviu como sustentação para discussões relacionadas a trabalhos anteriores e trouxe novos elementos para discussões futuras. Uma análise de um maior número de amostras dos variados litotipos reunidos na denominação Tonalito Tachas, se mostra fundamental para eventuais discussões relacionadas ao processo de geração e posicionamento deste conjunto. Neste sentido, a continuidade dos estudos na região se mostra importante.

7 – Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, F.F.M.; AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KWASHITA, K. (1973)** - The Precambrian evolution of the South America cratonic margin south of Amazon River. In: NAIRN, A.E.M.; STEHLI, F.G.; UYEDA, S. (Eds), Ocean basins and margins. N. York, Plenum. v. 1, p. 411-446.
- ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; TROUW, R. (1998)** - Geometric and kinematic analysis at the Central Tectonic Boundary of the Ribeira belt, Southeastern Brazil, In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Anais, p. 32.
- ANDERSEN, T.; ANDERSON, U.B.; GRAHAM, S.; ÅBERG, G.; SIMONSEN, S.L. (2009)** - Granitic magmatism by melting of juvenile continental crust: new constraints on the source of Palaeoproterozoic granitoids in Fennoscandia from Hf isotopes in zircon. *Journal of Geological Society*, 166: 233-247
- BERTOTTI, A. L.; CHEMALE Jr., F.; KAWASHITA, K. (2013)** – Lu-Hf em zircão por LA-MC-ICP-MS: aplicação em gabro do Ofiolito Aburrá, Colômbia. *Pesquisas em Geociências*, 40 (2). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- CARNEIRO, C.D.R.; MIZUSAKI, A.M.P.; ALMEIDA, F.F.M. de. (2005)** - A determinação da idade das rochas. *Terræ Didactica*, v.1, n. 1, p:6-35.
- DINIS, P.; AZEVEDO, M.; TASSINARI, C. (2014)** – Datação U-Pb de zircões detríticos: base para estudos de proveniência de materiais quaternários no território português. Disponível em: < https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/32067/1/8%20-%20Dinis_etal.pdf > Acesso em: 24/11/2018.
- GEHRELS, G. (2012)** – Detrital zircon U-Pb geochronology: current methods and new opportunities. In *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances*. 1ª edição. p: 47-59.
- GERALDES, M.C. (2010)** - Introdução à Geocronologia. Sociedade Brasileira de Geologia. 146p.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. (1984)** - Província Mantiqueira. Setor Central. In: ALMEIDA, FFM & HASUI, Y. O Pré Cambriano do Brasil. Ed. Edgard Blucher. p. 308-344. São Paulo. 1984.
- HEILBRON, M. & MACHADO, N. (2003)** - Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Res.*, 125: 87-112.
- HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C.M.; MILANI, E.; ALMEIDA J.C.H.; TUPINAMBÁ, M. (2000)** - From collision to extension: the roots of the south-eastern continental margin of Brazil. In: Talwani & Mohriak (eds) *Atlantic Rifts and Continental Margins*. American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series, 115:1-34.
- HEILBRON, M.; PIRES, F.R.M.; VALERIANO, C.M.; BESSA, M.; (1993)** - Litoestratigrafia, evolução tectono-metamórfica e magmatismo no Precambriano do setor sudeste do Município do Rio de Janeiro. *Anais do III Simpósio de Geologia do Sudeste, Rio de Janeiro*. SBG, Núcleos Rio de Janeiro/São Paulo, pp. 174–179 [in memoriam].
- HEILBRON, M.; VALERIANO, C. M.; VALLADARES, C.S.; MACHADO, N. (1995)** - A orogênese Brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. *Rev. Bras. Geoc.* 25 (4), 249–266.
- HELMBOLD, R.; VALENÇA, J. G. & LEONARDOS Jr., O. H. (1965)** – Mapa geológico do Estado da Guanabara, esc. 1:50000. 3 Folhas. MME/DNPM.
- KINNY, P. D.; MAAS, R. (2003)** - Lu-Hf and Sm-Nd isotope systems in zircon. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* ; 53 (1): 327–341. Disponível em: <https://doi.org/10.2113/0530327>

- LONGERICH, H. (2008)** - Laser ablation–inductively coupled plasma–mass spectrometry (LA–ICP–MS): an introduction. In: Laser Ablation–ICP–MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues. Mineralogical Association of Canada Short Course Series. Vol. 40. p:1-19.
- MARTINS, V. T. de. S.; BABINSKY, M. (2018)** – Geocronologia: O tempo registrado nas rochas. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo. <<http://www.igc.usp.br/index.php?id=304> >
- MCKENZIE, D.P. (1987)** - The compaction of igneous and sedimentary rocks. Geol. Soc. London, v. 144, p. 299-307.
- PENHA, H.M. (1984)** - Geologia do Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro, RJ. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 53, n. 3, p. 355.
- PENHA, H. M.; FERRARI, A. L.; RIBEIRO, A; PETAGNA, F.; AMADOR, E.S & JUNHO, M. C. B. (1980)** – A geologia da Folha Petrópolis, 31º Congre. Bras. Geol., Camboriú, 5: 2965-2974
- PENHA, H.M & WIEDEMANN, C. (1984)** - Granitóides da região central do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. Roteiro de Excursões, p. 5433-5455.
- PEREIRA, E. da. S. (2010)** – Geodiversidade do Parque Estadual da Pedra Branca – RJ: Subsídios para o planejamento geoturístico. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Dissertação de Mestrado. 165p.
- PIRES, F. R. M.; BAUER, E. H.; CRESCENCIO Jr., F.; GONZAGA, G. G.; TORRES, M. G. (1989)** – Lito-estratigrafia dos gnaisses da Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ. 1º Simp. Geol. Sudeste, Rio de Janeiro, Bols. Res. Expand. p: 153-154.
- PIRES, F. R. M.; HEILBRON, M.; ALBUQUERQUE, R.; BESSA, M. P. (1982)** – Multistage Generation of Granite in Rio de Janeiro, Brazil. Anais da Acad. Bras. Ciênc., 54(3), p: 563 – 574.
- PIRES, F. R. M.; HEILBRON, M. e SILVA, P. C. F. (1986)** – Polimetamorfismo em gnaisses do Rio de Janeiro. Na. 34º Congr. Bras. Geol, Goiania, 3: 1451-1462.
- PORTO Jr., R. (1993)** – Considerações sobre a Petrogênese das Rochas Graníticas do Complexo Granítico Pedra Branca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Publicação Especial dos Anais da Acad. Bras. De Ciências, Workshop MAGMA. p: 63-66. Rio de Janeiro.
- PORTO, Jr., R. (1994)** – Petrologia das Rochas Graníticas das Serras da Pedra Branca e Misericórdia, Município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tese de Mestrado, IG/UFRJ, 222p.
- PORTO JR, R. (2004)** - Petrogênese das Rochas do Maciço da Pedra Branca. Rio de Janeiro, RJ. Rio de Janeiro, 2004. 283p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- PORTO JR, R. & VALENTE, S.V. (1988)** - As rochas granitoides do norte da Serra da Pedra Branca e suas relações com as encaixantes gnáissicas na região de Bangu, Rio de Janeiro, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. Anais...Belém: SBG, 1988, v. 3, p. 1066-1079.
- PORTO Jr., TESSER, L. R.; DUARTE, B. P. (2018)** – A Origem do Acamamento Magmático no Granito Pedra Branca, Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro, Brasil. UNESP, São Paulo, Geociências, v. 37, n. 2, p: 237 – 251.
- SATO, K.; BASEI, M.; SIGA JÚNIOR, O.; SPROESSER, W.; PASSARELLI, C. (2008)** - Novas técnicas aplicadas ao método U-Pb no CPGeo - IGc/USP: avanços na digestão química, espectrometria de massa (TIMS) e exemplos de aplicação integrada com SHRIMP . Geologia USP. Série Científica, v. 8, n. 2, p. 76-99.
- SATO, K.; KAWASHITA, K. (2002)** – Espectrometria de Massa em Geologia Isotópica. Revista do Instituto de Geociências – V. 2, p: 55-77.
- SCHMITT, R.S. (2000)** - Um Evento Tectono-Metamórfico CambroOrdoviciano caracterizado no Domínio tectônico Cabo Frio, Faixa Ribeira- sudeste do Brasil. Tese de Doutorado inédita, IG/UFRJ, 273 p.

SCHMITT, R.S.; TROUW, R.A.J.; VAN SCHMUS, W.R.; (1999) - The characterization of a Cambrian (~520 Ma) tectonometamorphic event in the coastal domain of the Ribeira Belt (SE BRAZIL)—using U–Pb in syntectonic veins. *Boletín Geológico y Minero Argentino* 36, 363–366.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B.; NOGUEIRA, J.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L.; MEDEIROS, S.; ALMEIDA, C.; MIRANDA, A., RAGATKY, C.; MENDES, J.; LUDKA, I. (2013) - Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da Arte e Conexões com a Faixa Araçuaí. *Revista Geonomos*, 15(1). doi: <http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v15i1.108>

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; OLIVEIRA, A.; PEREIRA, A.J.; CUNHA, E.R.S.P.; FERNANDES, G.A.; FERREIRA J.; CASTILHO, G.; TEIXEIRA, W. (1996) - Complexo Rio Negro - uma unidade estratigráfica relevante no entendimento da evolução da Faixa Ribeira. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Anais, vol. 6, p. 104-106.

VIGNERESSE, J.L.; BARBEY, P. & CUNEY, N. (1996) - Rheological Transitions During Partial Melting and Crystallization with Application to Felsic Magma Segregation and Transfer. *Journal of Petrology*, v. 37, p. 1579-1600.