



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 541

**GEOCRONOLOGIA U-Pb E TIPOLOGIA DE ZIRCÃO
DETRÍTICO APLICADAS A ESTUDOS DE PROVENIÊNCIA
SEDIMENTAR DAS FORMAÇÕES PIRIÁ E IGARAPÉ DE
AREIA, CRÁTON SÃO LUÍS/CINTURÃO GURUPI (NE-
PARÁ/NW-MARANHÃO)**

Dissertação apresentada por:

RÔMULO PINTO AMARAL

Orientador: Prof. Dr. CANDIDO AUGUSTO VELOSO MOURA (UFPA)

**BELÉM
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A485g

Amaral, Rômulo Pinto.

Geocronologia U-Pb e tipologia de zircão detrítico aplicadas a estudos de proveniência sedimentar das formações Piriá e Igarapé de Areia, Cráton São Luís/Cinturão Gurupi (NE-Pará/NW-Maranhão) / Rômulo Pinto Amaral. — 2018
xviii,92 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Candido Augusto Veloso Moura

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018

1. Geocronologia U-Pb. 2. Zircão detrítico. 3. Proveniência sedimentar. 4. Formação Igarapé de Areia. 5. Formação Piriá. I. Título.



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**EV GEOCRONOLOGIA U-Pb E TIPOLOGIA DE ZIRCÃO
DETRÍTICO APLICADAS A ESTUDOS DE PROVENIÊNCIA
SEDIMENTAR DAS FORMAÇÕES PIRIÁ E IGARAPÉ DE
AREIA, CRÁTON SÃO LUÍS/CINTURÃO GURUPI (NE-
PARÁ/NW-MARANHÃO)**

Dissertação apresentada por
RÔMULO PINTO AMARAL

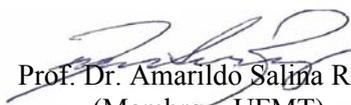
**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOQUÍMICA
E PETROLOGIA.**

Data de Aprovação: 08 / 09 / 2018

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Candido Augusto V. Moura
(Orientador – UFPA)


Prof. Dr. Evandro Luiz Klein
(Membro – CPRM)


Prof. Dr. Amarildo Salina Ruiz
(Membro – UFMT)

*Para Daniel,
porque para sempre vai ter xote.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a meus pais Yecê e Preto, pelo companheirismo, amor, amizade e carinho que me dispensaram nesses meus 26 anos de vida. Aos meus queridos irmãos Beto, Regina e Morgana, também pelo companheirismo o qual vez ou outra eu falto com eles.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Candido Moura a paciência, compreensão, orientação e merecidos puxões de orelha. Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG/UFGA) e ao CNPq o fomento de bolsa de estudos. A Secretária do PPGG, em especial a Cleida Freitas. Ao Afonso Quaresma pela logística da viagem de campo. A técnica Joelma Lobo da Oficina de laminação da UFGA. A todos os envolvidos no Laboratório de Microanálises da UFGA Professor Dr. Cláudio Lamarão, Geóloga Msc. Gisele Tavares e aos técnicos Bruno Portugal e Ana Paula Correa. Ao Laboratório de Geologia Isotópica do Pará (Pará-Iso) em especial, também pela orientação na etapa de realização e tratamento dos dados, ao Professor Dr. Marco Galarza e ao Professor Dr. João Milhomem.

Aos meus amigos queridos de infância, Thaíssa, Áurea, Mateus, Fagner e Allan, que nossa amizade dure para sempre. Aos amigos da Geologia, Reinaldo, Thadeu, Rafael, Ailton, Pablio, Leonardo e Franco. Em especial aos meus queridos amigos Arthur, Dayane, Bruna e Camila.

A meus avós, Antônio e Yolanda, a todos os tios, tias e primos (são muitos), em especial Henrique, Victor, Rafael, Leonardo, Yuri, Amanda, Alex e João Felipe. E mais que especial ao meu grande irmão, primo, parceiro e amigo Daniel Santos que deixou uma saudade imensa e incurável que fez o ano de 2015 parecer nunca ter acabado e que até hoje e pra sempre encherá nossos olhos cada vez que lembrarmos daquele sorriso idiota que ele tinha depois de alguma piada muito sem graça, que só com ele contando pra fazer alguém rir, te amo meu irmão, que esteja em paz aí em cima. E as meninas que ele deixou como herança Laís, Dani, Denize e Fernanda, que no momento mais difícil mostraram o verdadeiro significado de amizade.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para eu chegar aqui hoje, em especial, para não cair na hipocrisia, a Carol que me ajudou em todos os momentos da minha vida adulta, e a quem desejo todo o sucesso e felicidade do mundo.

Tenho sangrando demais, tenho chorado pra cachorro.

Ano passado eu morri, mas esse ano eu não morro

(Antônio Carlos Belchior)

RESUMO

Equipamentos analíticos modernos como o espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado e multicoletores, conectado a uma microsonda a laser (LA-MC-ICP-MS), tornaram as análises geocronológicas de zircão pelo método U-Pb mais acessíveis e permitiram a rápida obtenção de grandes quantidades de dados. Com isso, a datação de grãos detríticos de zircão tornou-se uma importante ferramenta nos estudos de proveniência sedimentar, fornecendo um *link* direto sobre a idade das rochas ígneas e/ou metamórficas dos terrenos-fonte que contribuíram para a formação dos depósitos de uma bacia sedimentar. Esta metodologia analítica, juntamente com análises morfológicas dos grãos detríticos de zircão datados, foi aplicada em rochas sedimentares das formações Igarapé de Areia e Piriá, aflorantes no nordeste do estado do Pará e noroeste do Maranhão. Estas sucessões sedimentares ocorrem associadas a rochas dos domínios geotectônicos Cráton São Luís (CSL), do Paleoproterozóico, e do Cinturão Gurupi (CG), que incorpora porções significativas do CSL fortemente retrabalhadas no Neoproterozóico. A Formação Igarapé de Areia é composta por arenitos arcoseanos de granulação média com estratificação cruzada acanalada, marcada por níveis de minerais opacos, que indica deposição em ambientes fluviais de média a alta energia. Esta unidade tem sua idade máxima de deposição em 1940 ± 55 Ma, e o aporte sedimentar é restrito a fontes do período Riaciano (2052 - 2269 Ma), concordante com a idade de crescimento crustal da Plataforma Sul-Americana. A Formação Piriá ocorre nos dois domínios geotectônicos. Para a porção presente no CG, aqui denominada Segmento Oeste, foram analisados dois arenitos da fácies arcóseos e grauvacas intercalados com pelitos laminados (ap), e um conglomerado da fácies conglomerática (cg). Os dados geocronológicos obtidos a partir dos arenitos apresentam, de forma subordinada, picos de idades neoproterozóicas (509 - 951 Ma) e mesoproterozóicas (1243 - 1630 Ma), e um pico principal de idade paleoproterozóica, principalmente do período Riaciano (2050 - 2266 Ma). A fácies conglomerática, é formada por orto- e paraconglomerados cujos constituintes indicam fontes ígneas e metamórficas. As idades dos grãos detríticos de zircão situam-se, essencialmente, entre 1950 e 2298 Ma, o que indica, do ponto de vista geocronológico, que os sedimentos são provenientes de uma área-fonte do Paleoproterozóico, diferentemente dos arenitos deste segmento. Por sua vez, a porção da Formação Piriá que ocorre sobre rochas do CSL, aqui designada Segmento Leste, corresponde a arcóseos com estratificação plano paralela intercalados com siltitos, provavelmente depositados em porções de mais baixa energia de canais fluviais. Os histogramas de distribuição de idades cumulativas destas rochas sugerem o predomínio de fontes mais jovens (525 - 824 Ma). A idade máxima de

deposição para a Formação Piriá é estimada em 509 ± 17 Ma. A discrepância na distribuição das idades de zircão entre os arcóseos dos segmentos Leste e Oeste da Formação Piriá indica a proveniência de diferentes áreas-fontes, sugerindo que estes segmentos representariam sub-bacias, ou sucessões sedimentares depositadas em períodos distintos.

PALAVRAS-CHAVE: U-Pb geocronologia em zircão detrítico, proveniência sedimentar, Formação Igarapé de Areia, Formação Piriá, Cinturão Gurupi, Cráton São Luís.

ABSTRACT

Modern analytical equipment such as the Multicollector-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer, connected to a Laser Ablation microprobe (LA-MC-ICP-MS), made U-Pb geochronological analysis of zircon more accessible and allowed the collection of large amount of data. As a result, the dating of detrital zircon grains has become an important tool in sedimentary provenance studies, since it may provide direct information about the ages of the igneous and/or metamorphic rocks of the source areas that contributed to the deposits of a sedimentary basin. This tool, together with the morphological analyzes of the dated detrital zircons, was applied to provenance studies on the sedimentary rocks of the Igarapé de Areia and Piriá formations, that crop out in the northeast of Pará and northwest of Maranhão states. These sedimentary successions occur in the midst of rocks of the São Luís Craton (SLC), and Gurupi Belt (GB) geotectonic domains. The former is of Paleoproterozoic age and the GSB incorporates significant portions of the SLC strongly reworked in the Neoproterozoic. The Igarapé de Areia Formation is composed of medium grain arcossian sandstones with trough cross stratification, marked by levels of opaque minerals, indicating deposition in medium to high-energy fluvial systems. The maximum depositional age of this unit is 1940 ± 55 Ma, and the sedimentary contribution is restricted to sources from the Rhyacian period (2052 - 2269 Ma), which is consistent with the age of crustal growth of South American Platform. The Piriá Formation occurs in both geotectonic domains. For the succession that lies over the GB, here called the West Segment, detrital zircons from two sandstones of the arkose and greywacke interbedded with pelitic layers lithofacies, and from one conglomerate of the conglomeratic lithofacies were analyzed. The geochronological dates from the sandstones present subordinate peaks of Neoproterozoic (509 - 951 Ma) and Mesoproterozoic ages (1243 - 1630 Ma), and a main peak of Paleoproterozoic age, mostly Rhyacian (2050 - 2266 Ma). The conglomerate facies is made up of ortho- and paraconglomerates whose constituents indicate igneous and metamorphic sources. The ages of the detrital zircon grains are basically between 1950 and 2298 Ma, which suggest, from the geochronological point of view, that the sediments may have come from a Paleoproterozoic source area, unlike the sandstones of this segment. On the other hand, the Piriá Formation rocks that occur on the SLCF, East Segment, correspond to arkose with plane-parallel stratification interlayered with siltites, and were probably deposited in portions of lower energy of fluvial channels. The histogram of cumulative ages of the detrital zircon from an arkose shows the predominance of younger source areas (525 - 824 Ma). The maximum depositional age for the Piriá Formation is estimated at 509 ± 17 Ma. The discrepancy

in the distribution of zircon ages between the arkoses of the East and West segments of the Piriá Formation indicates the contribution of different source areas, suggesting that these segments could represent sub-basins or sedimentary successions deposited in different periods of time.

KEY-WORDS: U-Pb geochronology in detritic zircon, sedimentary provenance, Igarapé de Areia Formation, Piriá Formation, Gurupi Belt, São Luís Craton.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – A) evidencia-se a disposição da área de estudo em relação a Província Parnaíba e a Plataforma Sul-Americana (Fonte: Klein et al. 2013). B) Esquema de fragmentação do supercontinente Gondwana e separação da Plataforma Sul-Americana e Cráton Oeste Africano (Fonte: Klein et al. 2005b).	2
Figura 1.2 – Localização e compartimentação geotectônica do CG e CSL evidenciando seu limite físico caracterizado pela Zona de Cisalhamento Tentugal (Fonte: Klein et al. 2013).	8
Figura 1.3 – Simplificação das unidades componentes do CSL (modificado e compilado de Klein & Moura 2003; Klein e Sousa 2012; Lopes e Klein 2014).	8
Figura 1.4 – Compartimentação geológica simplificada do CG e zona limite entre este o CSL, além do destaque para a área estudada (modificado e compilado de Lopes e Klein (2014), Klein (2015) e Lopes et al. (2016).	9
Figura 2.1 – Mapa de localização e acesso da área de estudo contendo também a articulação baseada nos projetos de Klein & Lopes (2011) e Klein (2015).	14
Figura 2.2 – Sequência de procedimentos para separação e organização dos grãos detríticos de zircão efetuados para cada uma das amostras.	18
Figura 2.3 – Gráfico que relaciona a probabilidade máxima de não se caracterizar uma população de grãos que contribuem entre 8,5% e 2 % (f) e número de grãos (k) que devem ser utilizados; m = número de populações (Vermeesch 2004).	20
Figura 2.4 – Exemplificação da classificação morfológica dos grãos detríticos de zircão utilizando os minerais coletados na amostra 07-RL-10, representativa da fácies conglomerática do Segmento Oeste da Formação Piriá. A) classificação qualitativa quanto as formas externas dos grãos. B) representações da classificação quantitativa dos graus de alongação dos mesmos.	23
Figura 2.5 – Representatividade tipológica das principais populações de grãos de zircão exemplificando zoneamento oscilatório concêntrico (A), setorial (B), convoluto (C), incipiente (D), sem zoneamento ou metamitizado (F), baseados em imagens de CL da amostra 16-RP-04 correspondentes aos grãos C7, C6, G3, D5, F2 e B9, respectivamente de A à F, presentes no Anexo 1.	24
Figura 2.6 – Série de decaimento radioativo dos isótopos de U diferenciados por cor e dispostos em diagrama que relaciona número atômico com número de núclídeos. São mostradas também as reações envolvidas nos diferentes	

- decaimentos, valores de meia vida e constantes de decaimento (Fonte: Dickin 2005).....27
- Figura 2.7 – Diagramas de concórdia para interpretação de dados de razões isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$, mostrando os dois tipos de abordagem através dos modelos de (A) Wetherill (1956) e (B) Tilton (1960). Em (C) a probabilidade de idades cumulativas para grão de zircão detrítico da Formação Piriá. Em (C) o histograma de distribuição de idades de grão detríticos da Formação Igarapé de Areia. (Fonte: Allègre 2008; Lopes et al., 2016; Klein 2015).27
- Figura 2.8 – Componentes do Netuno Finnigan (Fonte: Finnigan Neptune – Hardware Manual, 2004).....29
- Figura 2.9 – parâmetros laboratoriais referentes as análises isotópicas realizadas no Laboratório Pará-Iso do Instituto de Geociências da UFPA. (Fonte: Oliveira, 2015).31
- Figura 3.1 – Mapa geológico da área de estudo abrangendo estruturas tectônicas, contatos e unidades geológicas adjacentes as formações sedimentares estudadas, plotagem dos pontos amostrados, bem como imagem SRTM mostrando as cristas formadas por ocorrências da Formação Igarapé de Areia (Fonte: modificado de Lopes *et al.* 2016 e NASA 2000).....34
- Figura 3.2 – Fotografias referentes a Formação Igarapé de Areia. A) Amostra petrográfica dos blocos rolados coletados no ponto 16-RP-04. B) Afloramento in situ desta unidade na forma de cristas estreitas e alongadas. C) e D) detalhe das amostras referentes a esta formação mostrando as diagnósticas estratificações cruzadas sobressaltadas pelos níveis de minerais opacos.35
- Figura 3.3 – Fotografias e seção colunar referentes a Formação Piriá. A) Afloramento in situ na margem do Rio Gurupi, próximo à entrada do Rio Gurupi-Mirim no ponto 16-RP-02. B) e C) detalhes deste afloramento exposto em (A) evidenciando a relação de alternância entre as camadas de arenitos e siltitos. D) seção colunar representativa deste afloramento. E) e F) relativo a porção conglomerática desta formação retiradas de Lucas et al (2009).36
- Figura 3.4 – Fotomicrografia da amostra referente a Formação Igarapé de Areia coletada no ponto 16-RP-04. A) sob luz natural, porções onde há acumulo de minerais opacos (Op). B, C e D correspondem a fotomicrografia sob nicóis cruzados B) variedade de tipos de quartzo presentes, monocristalinos (Qtzmn) e policristalino (Qtzp). C) ocorrência de epidoto (Ep) como produto de alteração

- dos plagioclásios. D) presença de zircão detrítico (Zrnd) como mineral acessório. 39
- Figura 3.5 – Fotomicrografias da amostra coletada no ponto 16-RP-02. A) seção laminar sob luz polarizada evidenciando a má seleção de grãos, bem como o conteúdo mineralógico baseado em quartzo, predominantemente, plagioclásio (Pl) e K-feldspato, estes alterados para sericita (Ser), e grãos de muscovita (Ms). B) à luz natural é visto o detalhe do fragmento de rochas (Fgr) de granulação muito fina e cristais de clorita (Chl)..... 39
- Figura 3.6 – Fotomicrografias dos conglomerados da Formação Piriá referente a amostra 07-RL-10. A) evidência da variedade de quartzos policristalino (Qtzp) e monocristalino (Qtzmn). B) fragmento de rocha (Fgr) metavulcanossedimentar contendo grãos de plagioclásio amendoados. C) textura das porções menos grosseiras desta fácies conglomerática contendo grãos subangulosos de quartzo. D) disseminação de epidoto como alteração de grãos de feldspato..... 40
- Figura 3.7 – Classificação morfológica e tipológica dos grãos detríticos de zircão referentes a diferentes amostras da Formação Igarapé de Areia, baseadas em imagens de estereomicroscópio e CL-MEV. A) relacionada a diferentes frações granulométricas da amostra 16-RP-04 e B) correspondente a amostra 06-KT-03. Os números representam os quesitos classificados, 1) Morfologia; 2) Tipologia; 3) Elongação; e 4) Dimensões dos grãos. 42
- Figura 3.8 – Classificação morfológica e tipológica dos grãos detríticos de zircão referentes a Formação Piriá, baseadas em imagens de estereomicroscópio e CL. A) e B) está relacionado as fácies arcoseanas dos segmentos Leste e Oeste, respectivamente. C) dados de grãos detríticos pertencentes a fácies conglomerática da Formação Piriá. Os quesitos de classificação são vistos em 1) Morfologia; 2) Tipologia; 3) Grau de Elongação e 4) Dimensões dos grãos.... 45
- Figura 3.9 – Imagens de CL (16-RP-04) e elétrons retroespalhados (06-KT-03) referentes a grãos detríticos de zircão de diferentes amostras da Formação Igarapé de Areia. O círculo vermelho sinaliza a localização da incidência dos feixes de laser sobre os grãos e abaixo destes as idades obtidas e a nomenclatura dos mesmos. 47
- Figura 3.10 – Histogramas de distribuição de idades cumulativas e plotagem de grãos em diagrama concórdia referentes as Formação Igarapé de Areia. Em A amostra 16-RP-04 e em B amostra 06-KT-03, mostrando o pico principal no período

Riaciano.	47
Figura 3.11 – Imagens de CL e de elétrons retroespalhados (*) de grãos detríticos de zircões referentes a rochas dos diferentes segmentos da Formação Piriá. Os círculos vermelhos indicam os locais de incidência do feixe de laser sobre os grãos e abaixo destes as idades obtidas e a nomenclatura dos mesmos.	48
Figura 3.12 – Histogramas de probabilidades de idades cumulativas e plotagem dos grãos em diagrama concórdia para amostras do Segmento Oeste da porção indivisa da Formação Piriá. Sendo A referente a amostra 04-KT-02 e em B a amostra DDG-226.	50
Figura 3.13 – Diagrama de probabilidades cumulativas para a porção conglomerática da Formação Piriá e grãos plotados em diagrama concórdia.	51
Figura 3.14 – Curva de probabilidade de idades cumulativas referentes ao Segmento Leste da Formação Piriá e grãos plotados em diagrama concórdia.	51
Figura 4.1 – Histogramas de distribuição de idades cumulativas e quadro cronoestratigráfico com a porcentagem de grãos referentes aos diferentes períodos geológicos.	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- Ah – Fácies arcóseos com estratificação cruzada hummocky
- Ap – Fácies arcóseos e grauvacas intercaladas com pelitos
- CG – Cinturão Gurupi
- Cg – Fácies conglomerados oligomíticos
- Chl – Clorita
- CL – Catodoluminescência
- CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil
- Ep – Epidoto
- CSL – Cráton São Luís
- Fgr – Fragmento de rochas
- LA-MC-ICP-MS – Laser Ablation – Multi-Collector Inductively coupled Plasma Source
Mass Spectrometer - Ablação a Laser conectada a um Espectrômetro de
Massa com Multicoletores e Plasma Indutivamente Acoplado.
- MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
- Ms – Muscovita
- Op – Minerais Opacos
- Pl – Plagioclásio
- Qtzmc – Quartzo Microcristalino
- Qtzp – Quartzo Policristalino
- Ser – Sericita
- Sp – Siltitos e pelitos laminados.
- SRTM – Shuttle Radar Topography Mission
- Zrn(d) – Zircão (detrítico)

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPIÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO	3
1.2.1 Generalidades	3
1.2.2 Compartimentação Geotectônica	3
1.2.2.1 Cráton São Luís (CSL)	3
1.2.2.2 Cinturão Gurupi (CG).....	6
1.3 COBERTURAS SEDIMENTARES DO CINTURÃO GURUPI E CRÁTON SÃO LUÍS..	
.....	10
1.3.1 Formação Igarapé de Areia	10
1.3.2 Formação Piriá	11
2 MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1 MÉTODOS DE PESQUISA	13
2.2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	13
2.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO.....	13
2.4 COLETA DE AMOSTRAS	15
2.5 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	16

2.6 PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR	19
2.6.1 Análise Quantitativa	19
2.6.2 Análise Morfológica	21
2.6.2.1 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)	24
2.6.3 Análise Geocronológica	25
2.6.3.1 Microsonda Laser conectada a um Espectrômetro de Massas com Multicoletores e Plasma Indutivamente Acoplado (LA-MC-ICP-MS)	28
2.6.3.2 Análises U-Pb por LA-MC-ICP-MS no Laboratório Pará-Íso (IG/UFPA)	29
3 RESULTADOS	32
3.1 GEOLOGIA DOS SÍTIOS AMOSTRADOS	32
3.2 PETROGRAFIA	37
3.2.1 Formação Igarapé de Areia	37
3.2.2 Formação Piriá - Segmento Leste	37
3.2.3 Formação Piriá – Segmento Oeste – Fácies Arcoseo e Grauvacas	38
3.2.4 Formação Piriá – Segmento Oeste - Fácies Conglomerática	38
3.3 MORFOLOGIA E TIPOLOGIA DE ZIRCÕES DETRÍTICOS	41
3.3.1 Morfologia dos grãos detríticos da Formação Igarapé de Areia	41
3.3.2 Morfologia dos grãos detríticos da Formação Piriá	43
3.4 GEOCRONOLOGIA U-Pb EM ZIRCÃO DETRÍTICO POR LA-MC-ICP-MS	46
3.4.1 Formação Igarapé de Areia	46
3.4.2 Formação Piriá	48
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
4.1 DISCUSSÃO	52
4.1.1 Formação Igarapé de Areia	53
4.1.2 Formação Piriá	54
4.2 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	58

REFERÊNCIAS	60
ANEXOS	66
ANEXO A - IMAGENS VIA LUPA BINOCULAR E MICROSCÓPIO	67
ANEXO B - DADOS U-PB DOS ZIRCÕES DETRÍTICOS DAS FORMAÇÕES PIRIÁ E IGARAPÉ DE AREIA OBTIDAS VIA LA-MC-ICP-MS	75

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O estudo de proveniência sedimentar tem se revelado uma importante linha de pesquisa no que concerne a implicações paleogeográficas a partir da determinação de relações entre áreas fontes e bacias sedimentares, sendo estes estudos baseados em diversas metodologias. Aplicou-se algumas destas metodologias na região limítrofe entre os estados do Pará e do Maranhão em bacias sedimentares dispostas em meio a rochas Pré-cambrianas aflorantes na forma de janelas erosivas (Lopes *et al.* 2016). Este contexto contribui como parte da Província Estrutural do Parnaíba (Hasui *et al.* 1984) pertencente a Plataforma Sul-americana (Almeida *et al.* 2000, Klein 2004, Klein *et al.* 2013; Figura 1.1 A)

Esta região é formada por duas províncias geotectônicas (Klein 2004). Estas províncias compreendem, segundo Ribeiro (2002), em um núcleo cratônico paleoproterozóico e uma faixa móvel que o borda, sendo este conjunto considerado como um fragmento do Cráton Oeste Africano que permaneceu no continente Sul-americano durante a fragmentação do antigo supercontinente Gondwana ocorrida no Mesozóico (Klein & Moura 2008; Klein & Sousa 2012, Klein *et al.* 2013; Figura 1.1 B).

O Domínio Cratônico, Cráton São Luís (CSL), é descrito como uma porção de crosta continental pré-cambriana composta por suítes granitoides e sucessões metavulcanossedimentares (Klein & Sousa 2012). Enquanto que o Domínio Móvel, denominado Cinturão Gurupi (CG), corresponde a um produto de orogenia neoproterozóica, estruturalmente posta na direção NNW-SSE, compreendida por sequências metavulcanossedimentares, complexos metamórficos e rochas plutônicas de idades paleoproterozóicas, consideradas como representantes de um retrabalhamento da borda sul do CSL (Klein & Sousa 2012), além de intrusões ígneas neoproterozóicas (Klein *et al.* 2005a)

A ocorrência de bacias sedimentares cobrindo parcialmente rochas dos denominados Cinturão Gurupi e Cráton São Luís são consideradas em geral coberturas pós-orogênicas, relacionadas à eventos orogênicos neoproterozóicos ou mais antigos, até paleoproterozóicos (Klein & Lopes 2011).

No presente trabalho foram estudadas duas sequências sedimentares desta região, denominadas Formações Igarapé de Areia e Piriá. A fim de obter informações sobre áreas fontes e condições de transporte seguido pelos sedimentos que formam as rochas destas bacias, foram aplicadas metodologias para determinar idades e morfologias de grãos detríticos de zircão. Os

estudos geocronológicos prévios para os sedimentos que formam estas rochas revelam idades neoproterozóicas até paleoproterozóicas (Klein & Lopes 2011).

Devido ao aumento da resolução analítica de equipamentos modernos de espectrometria de massas, a análise geocronológica se tornou uma importante ferramenta nos estudos de proveniência, pois fornece diretamente a idade das rochas ígneas e/ou metamórficas dos terrenos-fonte (Remus *et al.* 2008). A aplicação da metodologia U-Pb foi realizada utilizando uma microsonda de Ablação a Laser conectada a um Espectrômetro de Massa com Multicoletores e Plasma Indutivamente Acoplado (LA-MC-ICP-MS).

Como auxílio a esta técnica foram obtidas imagens de catodoluminescência (CL) por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Estes produtos, somados a imagens obtidas em estereomicroscópio, auxiliaram também na etapa de análise tipológica e morfológica de grãos detríticos de zircão. Estas análises caracterizam de forma mais eficaz as populações provenientes de diferentes fontes e fornecem inferências acerca da natureza dos grãos, distância e meios de transporte desde a área fonte até à bacia de deposição (Gartner *et al.* 2013).

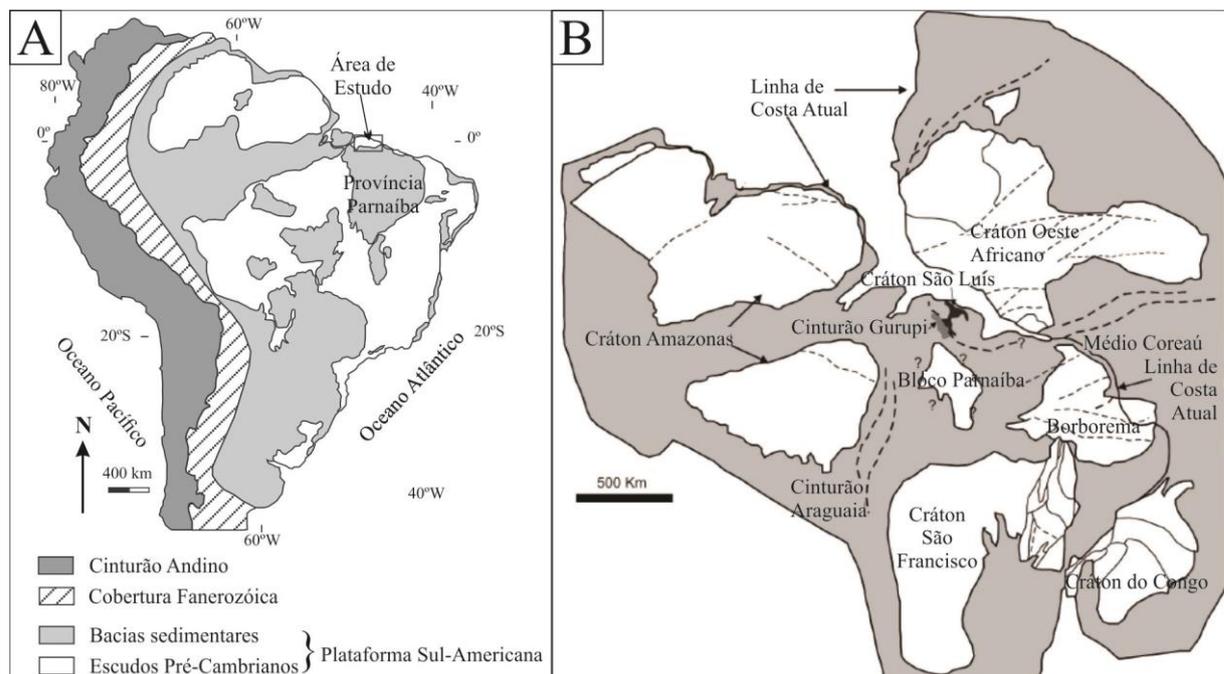


Figura 1.1 – A) evidencia-se a disposição da área de estudo em relação a Província Parnaíba e a Plataforma Sul-Americana (Fonte: Klein *et al.* 2013). B) Esquema de fragmentação do supercontinente Gondwana e separação da Plataforma Sul-Americana e Cráton Oeste Africano (Fonte: Klein *et al.* 2005b).

1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

1.2.1 Generalidades

A área de trabalho está inserida no contexto geológico da região do Gurupi presente na porção que limita os estados do Pará e do Maranhão, correspondente às folhas Castanhal (Costa 2000) e Turiaçu/Pinheiro (Pastana 1995). Em resumo, a região compreende em um núcleo cratônico paleoproterozóico bordejado por uma faixa móvel de mesma idade retrabalhada durante o Neoproterozóico (Klein 2004), ambos recobertos por sedimentos fanerozóicos (Hasui *et al* 1984).

Trabalhos consagrados realizados nesta região dos autores Hurley *et al.* (1967); Almeida *et al.* (1968); Cordani *et al.* (1968); Almaraz e Cordani (1969), afirmavam esta região como constituída por duas províncias geocronológicas distintas, datadas do Paleoproterozóico composta por suítes granitoides e sucessões metavulcanossedimentares (Almeida *et al.* 1968) e do Neoproterozóico formado por complexos metamórficos, coberturas sedimentares e suítes granitoides.

Porém, trabalhos posteriores como o de Hasui *et al.* (1984) e Borges *et al.* (1994) sugeriram a divisão da região do Gurupi em duas províncias geotectônicas de mesma idade, Paleoproterozóica. O primeiro classificado como domínio cratônico – Cráton São Luís (CSL) de idades em torno de 2,0 Ga – e o segundo, o domínio móvel, Cinturão Gurupi (CG), de idades similares e evidências de retrabalhamento no Neoproterozóico (Ribeiro 2002). A principal feição estrutural presente foi definida por Hasui *et al.* (1984) como Zona de Cisalhamento Tentugal, de direção NNW-SSE (Figura 1.2).

1.2.2 Compartimentação Geotectônica

1.2.2.1 Cráton São Luís (CSL)

Esta porção é definida como um segmento crustal sem evidência de retrabalhamento tectônico significativo, porém com rochas associadas a arcos de ilhas promovidos por um evento acrescionário ocorrente em 2.20 Ga, coincidente com o período de crescimento crustal da Plataforma Sul-Americana (Klein 2004).

Este evento consistiu em um episódio colisional correlato ao registrado no sudeste do Escudo das Guianas e porção ocidental do Cráton Oeste Africano (Hurley *et al.* 1967). Torquato e Cordani (1981); Lesquer *et al.* (1984) e Brito Neves *et al.* (2001), assumem que o

CSL é uma porção do Cráton Oeste Africano que se separou durante a deriva do supercontinente Gondwana e permaneceu na Plataforma Sul-Americana (Figura 1.1 B).

O Domínio Cratônico se estende por cerca de 400 km na direção Leste-Oeste e mais de 120 Km na direção Norte-Sul e cobre parte dos estados do Pará e do Maranhão (Figura 1.2). As exposições rochosas desse domínio ocorrem em janelas estruturais abertas em coberturas fanerozóicas.

A Tabela 1.1 sumariza as unidades geológicas que constituem esse domínio cratônico e apresenta os métodos de obtenção dos dados geocronológicos apresentados. A coluna estratigráfica do CSL é representada, na base, por xistos de variadas composições, rochas metavulcânicas e metapiroclásticas, quartzitos subordinados, metachertes e meta-ultramáficas que formam a sucessão metavulcanossedimentar denominada **Grupo Aurizona** (Pastana 1995) de idade 2240 Ma (Klein & Moura 2001) e considerada, portanto, a unidade mais antiga deste contexto.

Na sequência tem-se a unidade mais extensa, em área, deste domínio cratônico constituída por batólitos de composição trondhjemítica-tonalítica-granodiorítica (TTG) e monzograníticas, formados em arcos de ilha intraoceânico com protólitos derivado de cunha mantélica e/ou crosta oceânica subductada denominados **Suíte Intrusiva Tromaí** (Klein 2004) de idade 2165 Ma (Klein & Lopes 2011). Esta unidade ocorre na região que limita as duas províncias geotectônicas (Figura 1.3).

Plútons graníticos de composição peraluminosa, que ocorrem de forma restrita, intrudem a Suíte Tromaí e formam a **Suíte Intrusiva Tracuateua** (Palheta 2001) e o **Granito Negra Velha** cuja idade de colocação é de 2090 e 2056 Ma, respectivamente (Klein 2015; Klein *et al.* 2008a). Klein *et al.* (2009) designam as unidades vulcânicas relacionadas a fases tardi- e pós-orogênicas denominadas **Unidade Vulcânica Serra do Jacaré**, **Formação Rio Diamante** e **Unidade Vulcânica Rosilha**, sendo as duas primeiras com idades de colocação entre 2164 Ma e 2160 Ma, e a última em 2068 Ma (Lopes & Klein 2014).

Há ainda as formações **Viseu**, **Igarapé de Areia** e **Piriá**. Para as Formações Viseu e Igarapé de Areia, grãos detríticos de zircão, forneceram idades entre 1950 e 2170 Ma; e entre 2100 e 2160 Ma, respectivamente (Pinheiro *et al.* 2003). Enquanto que para a Formação Piriá, os dados U-Pb em zircão detrítico indicam idades desde 590 Ma até 2200 Ma (Lopes *et al.* 2016). Estas unidades serão melhor discutidas na seção 1.3 deste capítulo.

Tabela 1.1 – Sumário de dados geocronológicos prévios para unidades dos domínios geotectônicos Cráton São Luís e Cinturão Gurupi.

Domínio Geotectônico/ Unidade Estratigráfica			
Cráton São Luís	Idade (Ma)	Método	Referência
Grupo Aurizona	2240 Ma	Pb-Pb zrn	1
Suíte Intrusiva Tromaí	2165 Ma	U-Pb LA	2
Suíte Intrusiva Tracuateua	2090 Ma		3
Granito Negra Velha	2056 – 2076 Ma	Pb-Pb zrn	4
Unidade Vulcânica Serra do Jacaré	2164 Ma	U-Pb S	5
Formação Rio Diamante	2160 Ma	U-Pb S	5
Unidade Vulcânica Rosilha	2068 Ma	Pb-Pb zrn	5
Formação Viseu	1950 – 2170 Ma	Pb-Pb zrnd	6
Formação Igarapé de Areia	2110 Ma	Pb-Pb zrnd	7
Cinturão Gurupi			
Metatonalito Igarapé Grande	2594 Ma	Pb-Pb zrn	8
Complexo Itapeva	2167 Ma	U-Pb TIMS	8
Formação Chega Tudo	2160 Ma	Pb-Pb zrn	8
Grupo Gurupi Indiviso	2043 Ma	U-Pb LA	9
Formação Piriá	563 Ma	U-Pb LA zrnd	9
	2103 Ma		
Formação Igarapé de Areia	2160 Ma	U-Pb LA zrnd	7
Formação Cabeça de Porco	2119 Ma	U-Pb LA	9
Granito Cantão	2163 Ma	Pb-Pb zrn	10
Granito Timbozal	2084 Ma	Pb-Pb zrn	10
Quartzo-sienito Anelis	2100 Ma	U-Pb LA	9
Granito Maria Suprema	2100 Ma	U-Pb TIMS	8
Granito Tamancuoca	2079 Ma	U-Pb LA	9
Granito Moça	2110 Ma	U-Pb LA	2
Granito Japiim	2116 Ma	U-Pb LA	9
Granito Jonasa	2142 Ma	U-Pb LA	10
Nefelina-sienito Boca Nova	732 Ma	U-Pb LA	8
Metamicrotonalito Caramujinho	624 Ma	U-Pb LA	2
Granito Ney Peixoto	549 Ma	Pb-Pb zrn	10

Referências: (1) Klein & Moura (2001); (2) Klein & Lopes (2011); (3) Palheta (2001); (4) Klein *et al* (2008a); (5) Klein *et al* (2009); (6) Pinheiro *et al* (2003); (7) Teixeira *et al* (2007); (8) Klein *et al* (2005c); (9) Klein (2015); (10) Palheta *et al* (2009).

Métodos: Pb-Pb – Evaporação de Pb em zircão; U-Pb LA – U-Pb por LA-MC-ICP-MS; U-Pb S – método SHRIMP; U-Pb TIMS – U-Pb por diluição isotópica ID-TIMS; zr: zircão; zrd: zircão detrítico.

1.2.2.2 Cinturão Gurupi (CG)

O CG apresenta-se estruturado na direção NNW-SSE. Se estende de forma longitudinal por cerca de 160 Km e possui largura de 50 Km. É limitado a sul por coberturas fanerozóicas indiferenciadas e a norte pela Zona de Cisalhamento Tentugal (Hasui *et al.* 1984). Este domínio, resultado de eventos orogênicos, cujas rochas tem idades de cristalização definidas por Klein e Moura (2001) como paleoproterozóicas (2148-2160 Ma), foram retrabalhadas durante o Neoproterozóico (Klein 2015). A evolução do CG é considerada complexa e derivada de eventos policíclicos, podendo suas feições estruturais terem sido formadas como resultado de um único evento deformacional, ou mais eventos (Klein *et al.* 2008b).

Lopes e Klein (2014) sintetizam a coluna estratigráfica deste domínio geotectônico em sequências metassedimentares, gnaisses e rochas plutônicas. A compartimentação das unidades geológicas do CG pode ser vista na Figura 1.4 e Tabela 1.1. Na sequência estratigráfica tem-se os complexos compreendidos por corpos isolados do ***Metatonalito Igarapé Grande*** de idade 2594 Ma (Klein *et al.* 2005c). Seguido dos gnaisses e xistos paraderivados e metamorfizados na fácies anfibolito que compõem o ***Complexo Itapeva*** de idades 2167 Ma (Klein 2004; Klein *et al.* 2005c). A unidade presente no limite entre os dois domínios geotectônicos (Figura 1.4) compreende a uma sequência metassedimentar com forte contribuição vulcânica denominada ***Formação Chega Tudo*** de idade 2148 Ma (Klein 2015).

O *Grupo Gurupi*, que corresponde a sequências metassedimentares, passou por um reordenamento estratigráfico em Klein (2015) e foi desmembrado em ***Formação Santa Luzia do Pará*** de idade paleoproterozóica; ***Grupo Gurupi Indiviso***, de idade 2084 Ma; e ***Formação Cabeça de Porco***, de idades 2119 Ma, idades estas obtidas a partir de grãos detríticos de zircão (Klein 2015).

Como componentes granitoides tem-se o ***Granito Cantão*** que compreende a um corpo de 2163 Ma e o ***Granito Timbozal***, datado de 2084 Ma, idades obtidas por evaporação de Pb em monocristais de zircão (Palheta *et al.* 2009). Juntamente com estes, a unidade ***Quartzo-sienito Anelis***, de idade U-Pb em zircão obtida por LA-MC-ICP-MS de 2100 Ma, forma o conjunto de granitoides potássicos (Klein 2015).

Uma série de granitos peraluminosos paleoproterozóicos também estão presentes no Cinturão Gurupi denominados ***Granito Maria Suprema*** (2100 Ma – obtida pelo método U-

Pb por diluição isotópica); **Granito Tamancuoca** (2079 Ma); **Granito Moça** (2210 Ma); **Granito Japiim** (2116 Ma); e **Granito Jonasa** (2142 Ma), idades obtidas pelo método U-Pb em zircão por LA-MC-ICP-MS (Klein 2015; Klein *et al.* 2005c; Klein & Lopes 2011; Palheta *et al* 2009)

A atividade magmática neoproterozóica do Cinturão Gurupi é evidenciada pelas unidades **Nefelina-sienito Boca Nova**, caracterizada por uma intrusão alcalina datada de 732 Ma (Klein *et al.* 2005c), unidade **Metamicronalito Caramujinho**, correspondente a intrusões cálcio-alcalinas metamorfizadas de idade 624 Ma (Klein e Lopes 2011). E, por fim, o **Granito Ney Peixoto** que compreende a um corpo granitoide peraluminoso de 549 Ma obtido por evaporação de Pb em monocristais de zircão (Palheta *et al* 2009).

As **Formações Piriá e Igarapé de Areia** presentes na porção cratônica deste contexto geológico também ocorrem no Cinturão Gurupi (CG). Como dito anteriormente, estas duas unidades serão abordadas na seção 1.3 e correspondem as unidades estudadas no presente trabalho.

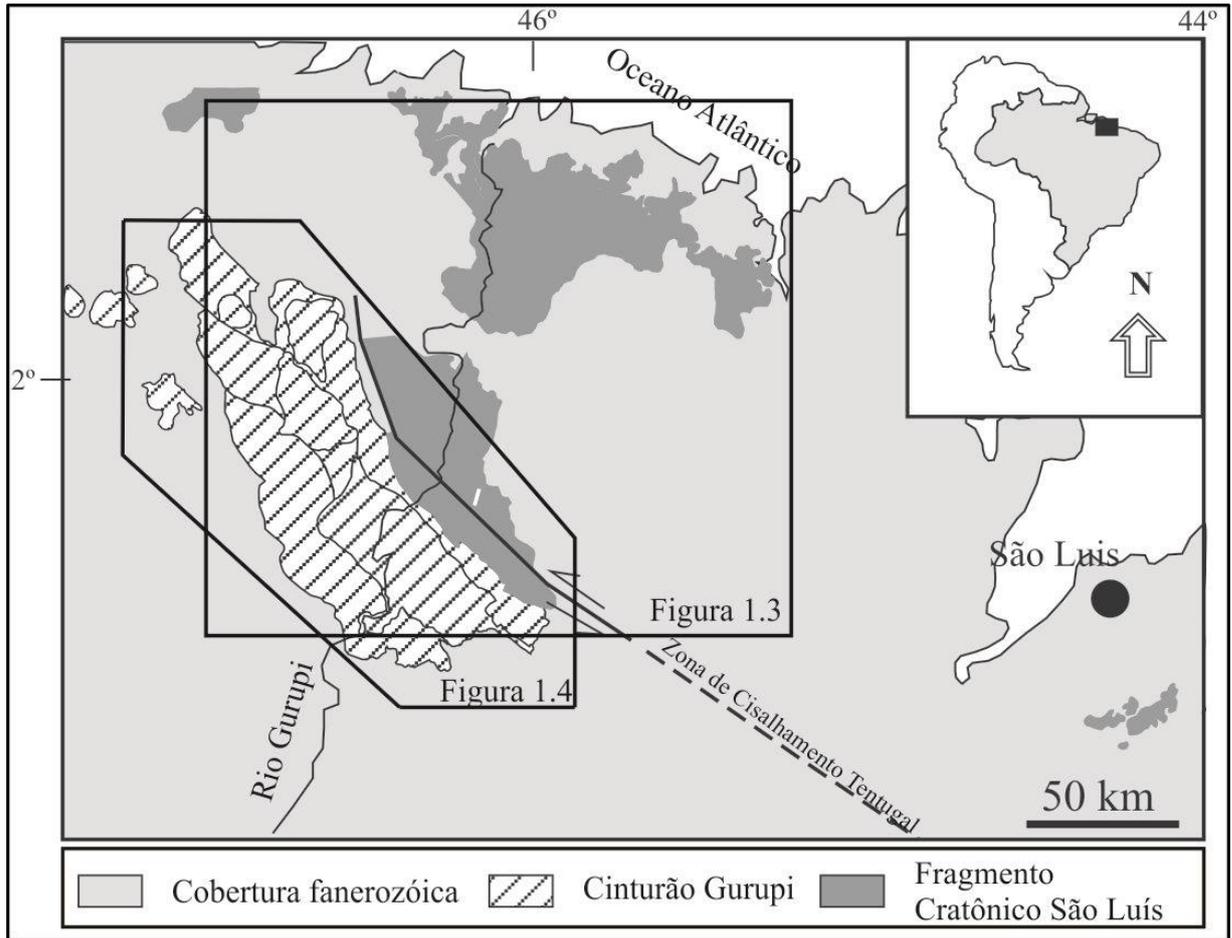


Figura 1.2 – Localização e compartimentação geotectônica do CG e CSL evidenciando seu limite físico caracterizado pela Zona de Cisalhamento Tentugal (Fonte: Klein *et al.* 2013).

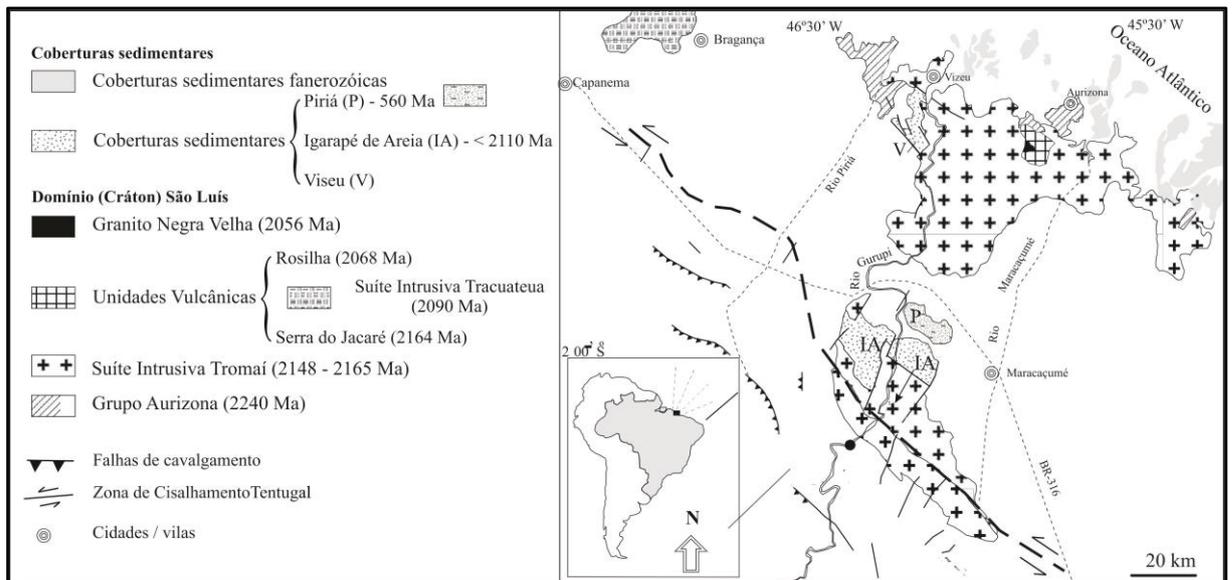


Figura 1.3 – Simplificação das unidades componentes do CSL (modificado e compilado de Klein & Moura 2003; Klein e Sousa 2012; Lopes e Klein 2014).

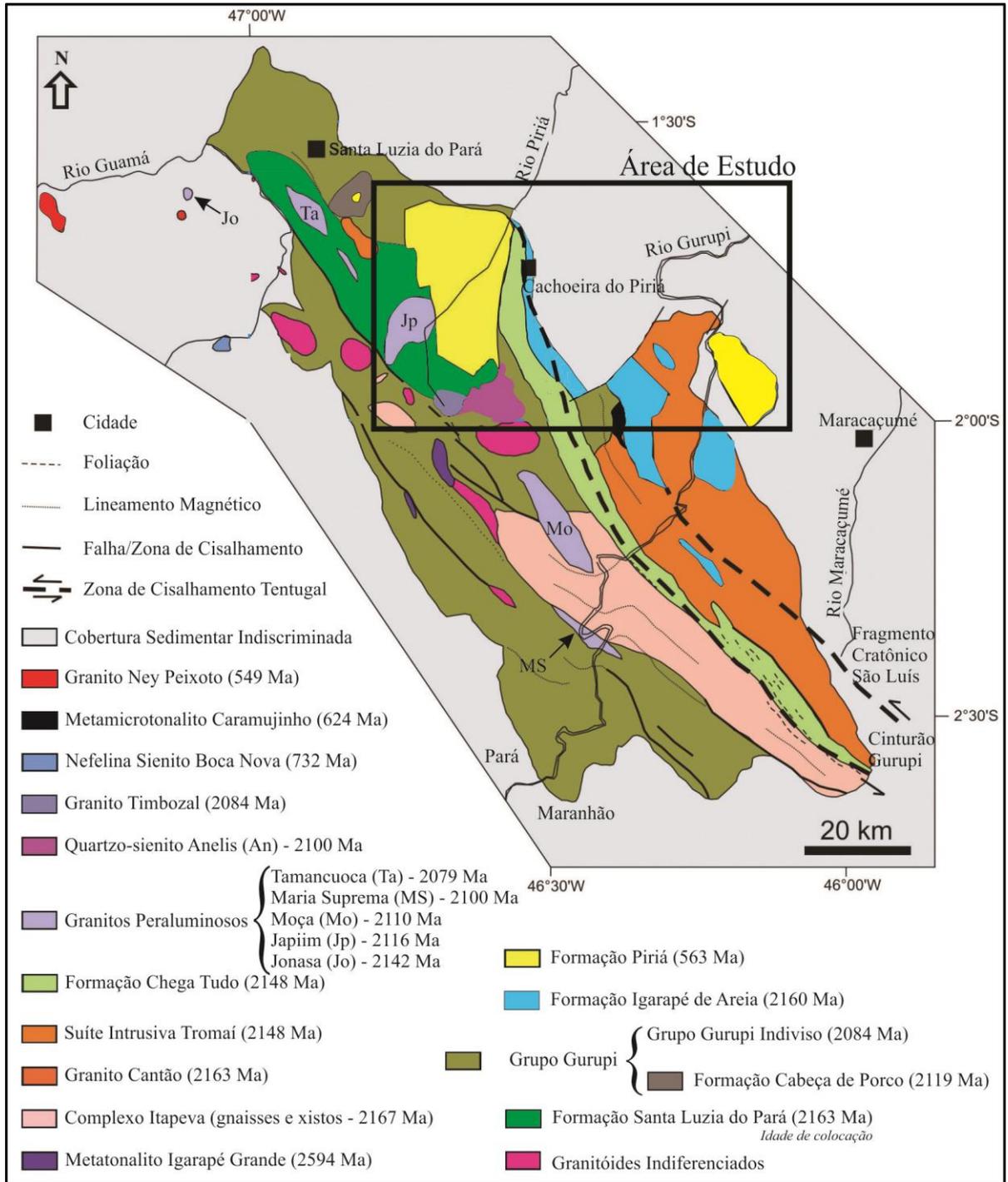


Figura 1.4 – Compartimentação geológica simplificada do CG e zona limite entre este o CSL, além do destaque para a área estudada (modificado e compilado de Lopes e Klein (2014), Klein (2015) e Lopes *et al.* (2016)).

1.3 COBERTURAS SEDIMENTARES DO CINTURÃO GURUPI E CRÁTON SÃO LUÍS

Formações sedimentares nesta região ocorrem tanto no CSL quanto no CG (Klein & Lopes 2011). Correspondem as Formações Piriá, Igarapé de Areia e Viseu.

A Formação Viseu ocorre exclusivamente no domínio cratônico e não foi contemplada neste trabalho. A Formação Piriá corresponde a uma bacia associada ao estágio pós-orogênico em relação ao processo de retrabalhamento do CG no Neoproterozóico. E a Formação Igarapé de Areia representa uma unidade mais antiga, do Paleoproterozóico (Lopes *et al.* 2016; Klein & Lopes 2011; Teixeira *et al.* 2007).

Nesta região do Gurupi ocorrem ainda bacias sedimentares representadas pelas sucessões da Bacia Paleozóica intracratônica do Parnaíba (Klein & Sousa 2012). Existem na região outras três bacias sedimentares, duas formadas a partir de riftes costeiros equivalentes às bacias São Luís e Ilha Nova e outra formada em margens divergentes denominada Bacia Pará-Maranhão, todas estas formadas durante o Cretáceo.

1.3.1 Formação Igarapé de Areia

Essa unidade foi definida por Abreu *et al.* (1980), estudada, baseando-se em dados geocronológicos e geoquímicos, nos trabalhos de Teixeira *et al.* (2007) e Klein e Lopes (2009) e redefinida cartograficamente em Klein e Lopes (2011) e Klein (2015). Esta formação ocorre nos dois domínios geotectônicos (Figura 1.4). No CG, as rochas desta formação ocorrem estruturadas nas direções NNW-SSE e N-W (Klein & Lopes 2011).

Litologicamente esta formação consiste em arenitos grossos intercalados com conglomerados oligomíticos e quartzo arenito sericíticos; arenitos grossos intercalados com pelitos; e arenitos conglomeráticos oligomíticos com estratificação cruzada acanalada (Klein & Lopes 2011). A Formação Igarapé de Areia, em contato a Formação Chega Tudo, é formada por arenitos médios a grossos com estratificação cruzada, mal selecionados. As idades obtidas em zircões detríticos, através do método U-Pb por LA-MC-ICP-MS, estão no intervalo entre 2075 a 2273 Ma. Teixeira *et al.* (2007) realizaram estudos geocronológicos e geoquímicos em amostras da área tipo desta formação e obtiveram idades entre 2110 e 2170 Ma, através dos métodos U-Pb por LA-MC-ICP-MS e evaporação de Pb em zircão.

Os dados geocronológicos indicam o posicionamento estratigráfico da Formação

Igarapé de Areia no Paleoproterozóico (Riaciano) tendo como possíveis fontes de sedimentos, baseados em dados geoquímicos de Teixeira *et al.* (2007), rochas quartzosas de margem continental passiva. Klein e Lopes (2011) sugerem que a sedimentação desta formação ocorreu após a deposição da Formação Chega Tudo ou contemporaneamente a ela, em ambientes de sistema fluvial de alta mobilidade e energia, com rios entrelaçados, adicionados a contribuições de leques aluviais e canais ativos.

1.3.2 Formação Piriá

Truckenbrodt e Corrêa (1985) classificaram as rochas desta formação como subarcóseos, arenitos finos, grauvacas, argilitos e conglomerados. Sua ocorrência no CSL é associada com rochas graníticas, que compreendem ao embasamento da bacia, cujos contatos são evidenciados por falhas normais (Lopes *et al.* 2016).

Na área de estudo, assinalada da Figura 1.4, ocorrem dois segmentos da Formação Piriá. A porção mais extensa desta formação é caracterizada pelo seu maior eixo orientado na direção norte-sul e é limitada por falhas normais e neste trabalho foi designada como *Segmento Oeste da Formação Piriá*. Os contatos com unidades adjacentes ocorrem à sul com o Quartzosienito Anelis, a oeste com o Granito Japiim, Formação Santa Luzia do Pará e Grupo Gurupi, a leste com a Formação Chega Tudo e a norte com coberturas sedimentares cenozóicas. A ocorrência desta formação presente na margem leste do Rio Gurupi é menos extensa e ocorre em contato com rochas da Suíte Intrusiva Tromai e coberturas sedimentares cenozóicas e aqui é denominada *Segmento Leste da Formação Piriá*.

Lopes *et al.* (2016), que se basearam em estudos anteriores como os de Abreu *et al.* (1980), Costa (2000) e Truckenbrodt *et al.* (2003), definiram, para esta formação, as litofácies arcóseos e grauvacas intercaladas com pelitos (ap); siltitos e pelitos laminados (sp); arcóseos com estratificação cruzada *hummocky* (ah); e conglomerados oligomíticos (cg). O trabalho de Lopes *et al.* (2016) definiu estas litologias baseando-se nos segmentos da Formação Piriá ocorrentes no Cinturão Gurupi (Segmento Oeste).

Os arcóseos e grauvacas intercalados com pelitos (ap) ocorrem na porção nordeste do Segmento Oeste da Formação Piriá e são compostos por arcóseos cinza esverdeados de granulação média a fina, moderadamente selecionados e com laminação plano-paralela (Klein 2015; Lopes *et al.* 2016).

A fácies siltitos e pelitos laminados (sp) ocorre na porção centro sul em contato gradacional com a fácies ap e compreendem rochas de coloração cinza esverdeadas a

avermelhadas com laminação variando entre plano-paralela à levemente ondulada (Lopes *et al.* 2016). A fácies arcóseo com estratificação *hummocky* (ah), que também ocorre no Segmento Leste do Formação Piriá, é formada por rochas com estratificação plano-paralela com laminação tangencial, estratificação *hummocky*, e estratificação cruzada de grande porte (Klein 2015). Por fim, no Segmento Oeste, a litofácies conglomerado oligomítico (cg), aflorante ao longo das falhas normais que limitam à oeste esta bacia, corresponde a conglomerados predominantemente sustentados por grãos cujos clastos são formados por quartzo e, em menor proporção, fragmentos de rochas (Lopes *et al.* 2016).

Lopes e Klein (2014) obtiveram as idades mais jovens para esta formação, 563 Ma, que foram obtidas através do método de datação U-Pb por LA-MC-ICP-MS. Lucas *et al.* (2009) realizaram estudos geocronológicos tendo como foco a porção conglomerática onde foram obtidos picos de idades, através do método de evaporação de Pb em zircão, de 1500 Ma, além de cristais entre 2,06 e 2,71 Ga. Lopes *et al.* (2016) analisaram zircão detrítico pelo método U-Pb utilizando o LA-MC-ICP-MS tendo obtido idades de 591 Ma para os zircões mais jovens interpretada como idade de máxima de deposição.

Quanto a proveniência, tem-se rochas félsicas a intermediárias do Riaciano e rochas metassedimentares recicladas como as principais fontes de sedimentos do Segmento Oeste desta formação, além de fontes mesoproterozóicas que podem representar sedimentos retrabalhados provenientes de unidades eliminadas pelos processos erosivos ou de fora da região, dado a inexistência de rochas dessa idade tanto no CSL quanto no CG (Lopes *et al.* 2016). Em relação ao ambiente de sedimentação da Formação Piriá é tido como ocorrente em sistemas fluviais adicionados a leques aluviais, planícies de inundação e canais fluviais

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MÉTODOS DE PESQUISA

A metodologia aplicada neste trabalho é aqui descrita com o objetivo de abordar todos os procedimentos realizados tais como, a escolha do tema e da área de trabalho - que exige levantamento bibliográfico detalhado -, preparação de amostras, separação de grãos detríticos de zircão a partir de concentrados de minerais pesados - com a finalidade de realizar estudos morfológicos e geocronológicos – e o tratamento dos dados obtidos.

2.2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A revisão bibliográfica realizada auxiliou na escolha do tema e da área de trabalho a ser estudada. Mais especificamente, serviu para o entendimento dos tópicos:

- Fundamentação teórica e importância do estudo de proveniência de rochas sedimentares;
- Entendimento das metodologias aplicadas para este tipo de investigação;
- E conhecimento detalhado da compartimentação geológica baseado nos trabalhos mais consagrados e recentes da região de estudo.

2.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada nas porções limítrofes entre os estados do Pará e do Maranhão, entre os paralelos 1° 40' 00" S e 2° 40' 00" S e meridianos 46° 50' 00" O e 46° 00' 00" O (Figura 2.1). Está inserida nas folhas Centro Novo do Maranhão (SA-23-Y-B-I) e Santa Luzia do Pará (SA-23-V-C) dos projetos de Klein e Lopes (2011) e Klein (2015), abrangendo os municípios de Santa Luzia do Pará, Viseu e Cachoeira do Piriá no estado do Pará, e Boa Vista do Gurupi, Junco do Maranhão e Centro Novo do Maranhão no estado do Maranhão.

O acesso à área, partindo da capital paraense em direção a oeste, é feito pela rodovia federal BR-316. À 160 Km de Belém tem-se o centro da cidade de Capanema. Em direção a sudeste, à aproximadamente 125 Km a partir dessa cidade, há o acesso a ponte sobre o Rio Gurupi, imediatamente após está a cidade de Boa Vista do Gurupi (MA), a qual serviu de base logística para campanha de amostragem realizada neste trabalho (Figura 2.1).

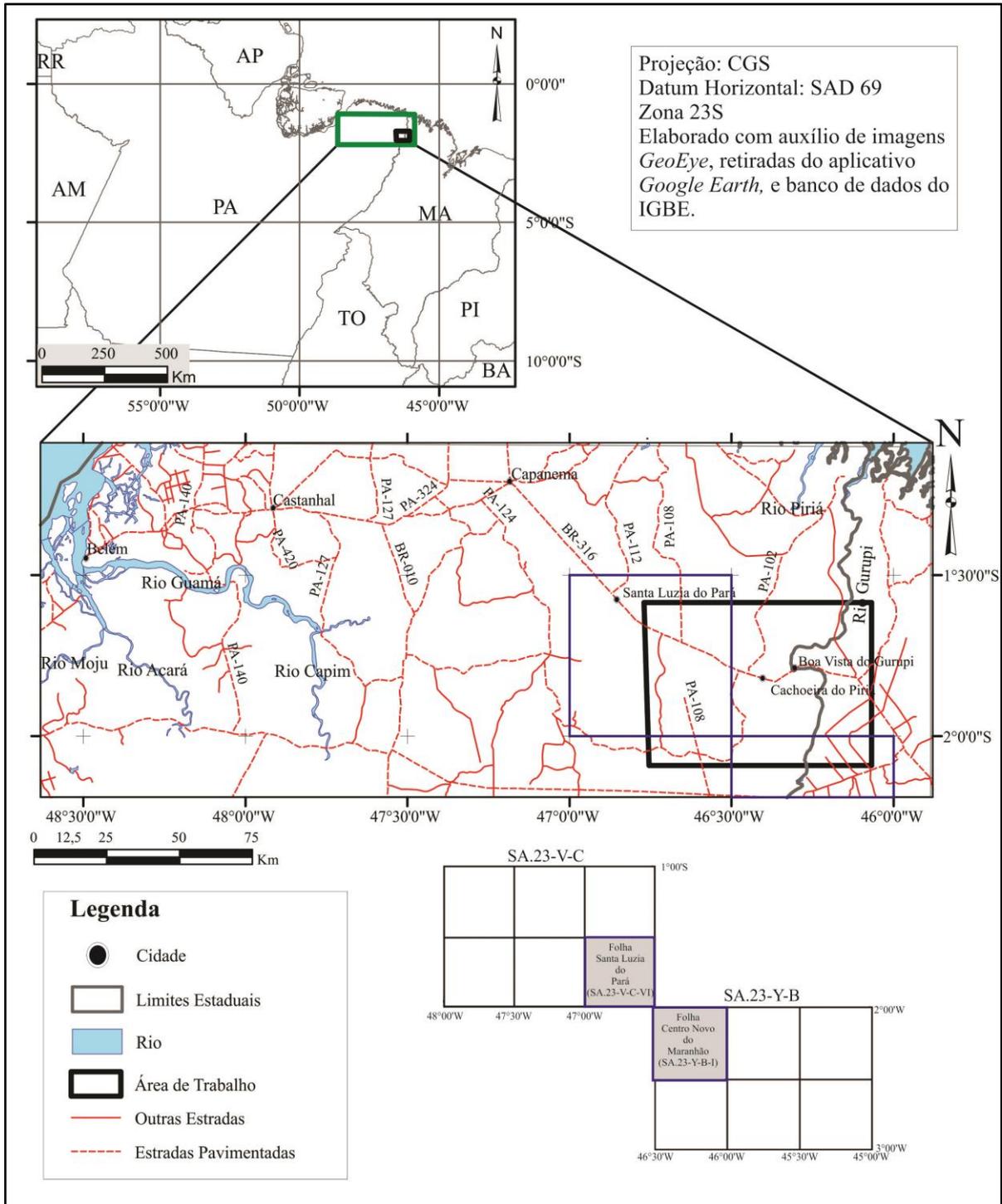


Figura 2.1 – Mapa de localização e acesso da área de estudo contendo também a articulação baseada nos projetos de Klein & Lopes (2011) e Klein (2015).

2.4 COLETA DE AMOSTRAS

Dentre as amostras utilizadas neste estudo duas foram obtidas na campanha de amostragem realizada no âmbito deste trabalho. Outras 4 foram fornecidas pelos geólogos Rodrigo Lucas, Keila Teixeira e pelo Dr. Evandro Klein totalizando 6 amostras referentes as unidades Formação Igarapé de Areia (2 amostras) e Formação Piriá (4 amostras).

As coordenadas dos pontos amostrados podem ser vistas na Tabela 2.1. A geóloga Keila Texeira coletou amostras localizadas na estrada PA-MA, Km 236, vila 83. Enquanto que Rodrigo Lucas realizou coletas próximo à chamada Vila Nazaré, em uma estrada vicinal na localidade Vila do Japiim que tem acesso pela BR-316, próximo à cidade de Cachoeira do Piriá. O Prof. Dr. Evandro Klein forneceu 1 amostra coletada às margens do Rio Piriá.

Por fim, obteve-se amostras, coletadas pelo autor deste trabalho, localizadas às margens do Rio Gurupi a sul da ponte que serve de entrada para a cidade de Boa Vista do Gurupi (MA). A primeira amostragem (16-RP-02) ocorreu a aproximadamente 1,3 Km de distância deste ponto de partida, próximo à entrada do Rio Gurupi-Mirim. Posteriormente, a cerca de 8 km na direção sul a partir deste ponto, obteve-se a segunda amostragem (16-RP-04)

Tabela 2.1 – Tabela de coordenadas de pontos visitados⁽¹⁾ e/ou amostrados⁽²⁾

Amostragem	Sigla	Latitude	Longitude
Este trabalho (16-RP)	16-RP-02 ^{(1),(2)}	01° 52' 08" S	46°14'03" W
	16-RP-04 ^{(1),(2)}	01°58'59" S	46°14'49" W
Geol. Keila Teixeira (04-KT)	04-KT-02 ⁽²⁾	01°42'17" S	46°38'19" W
	06-KT-03 ⁽²⁾	2° 1'2.07" S	46°21'24" W
Dr. Evandro Klein (DDG)	DDG-226 ⁽²⁾	01°45'11.92"S	46°37'8.36"W
Geol. Rodrigo Lucas (07-RL)	07-RL-10 ⁽²⁾	01°50'21" S	46°40'32" W

2.5 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

As amostras foram primeiramente tratadas na Oficina de Preparação de Amostras da UFPA (OPA-UFPA) onde, para a trituração, foram submetidas aos moinhos de mandíbula fixa e móvel e posteriormente levadas ao laboratório de Separação de Minerais do Instituto de Geociências da UFPA para serem lavadas, peneiradas e bateadas a fim de realizar a separação de concentrado de minerais pesados.

A amostra triturada é peneirada, via úmido, de forma a se obter três intervalos de frações granulométricas $>250\mu\text{m}$, $250-175\mu\text{m}$ e $175-125\mu\text{m}$ (Figura 2.2 A). Dado o andamento do trabalho notou-se que havia maiores quantidades de grãos de zircão na fração $175-125\mu\text{m}$, portanto esta foi a fração utilizada para a separação de grãos detríticos de zircão em todas amostras tratadas, enquanto que as outras frações foram armazenadas.

Nesta fração intermediária, inicia-se o processo de separação utilizando duas bateias de ferro, uma de tamanho médio, onde são impostos movimentos giratórios que concentram no seu fundo o material mais pesado, que é colocada sobre uma bateia maior que irá receber o material leve que, por atuação de forças centrífugas, escapam da primeira bateia (Figura 2.2 B).

O concentrado de material pesado é então submetido a um novo processo de bateamento utilizando cápsulas de porcelana (Figura 2.2 C), um processo denominado microbateamento que também resulta em uma separação de materiais leves e pesados. Esse material pesado é então secado em estufa a 100°C .

Utilizando béqueres, este concentrado, seco, é submetido a temperaturas de 100°C em uma chapa com areia (banho de areia), para a dissolução do ferro impregnado na superfície dos grãos utilizando uma solução de ácido clorídrico (HCl) a 10% (Figura 2.2 D). Os concentrados lavados com ácido são secados em estufa por 24 horas. Posteriormente, utilizando imã de Neodímio, são retirados os minerais magnéticos (Figura 2.2 E).

Em seguida é realizado o microbateamento com álcool etílico hidratado de $92,4^{\circ}\text{GL}$ em uma placa de Petri realizando movimentos oscilatórios para concentração de minerais pesados na borda da placa (Figura 2.2 F) a qual é posta para secar em uma estufa a 50°C . Tem-se então a fase de coleta dos grãos detríticos de zircão que ocorre com auxílio de lupa binocular e agulha (Figura 2.2 G). Os grãos são acondicionados em um cadinho de porcelana forrado com papel vegetal e, após o término desta etapa, guardados em tubos de centrífuga (Figura 2.2 H).

Os grãos detríticos de zircão são organizados, em grupos de grãos de tamanhos similares, em uma fita dupla face posta em uma lâmina, e são descritos dada suas formas, cor e dimensões. Na Oficina de Laminação do Instituto de Geociências da UFPA é posto uma resina epóxi que fixa os grãos que tem, então, suas superfícies polidas (Figura 2.2 I; Anexo 1). Os grãos são montados nas seções e posteriormente imageados no laboratório de Microanálises da UFPA em um microscópio eletrônico de varredura cujos produtos auxiliam na etapa de datação em um espectrômetro de massa e na determinação tipológica dos grãos.

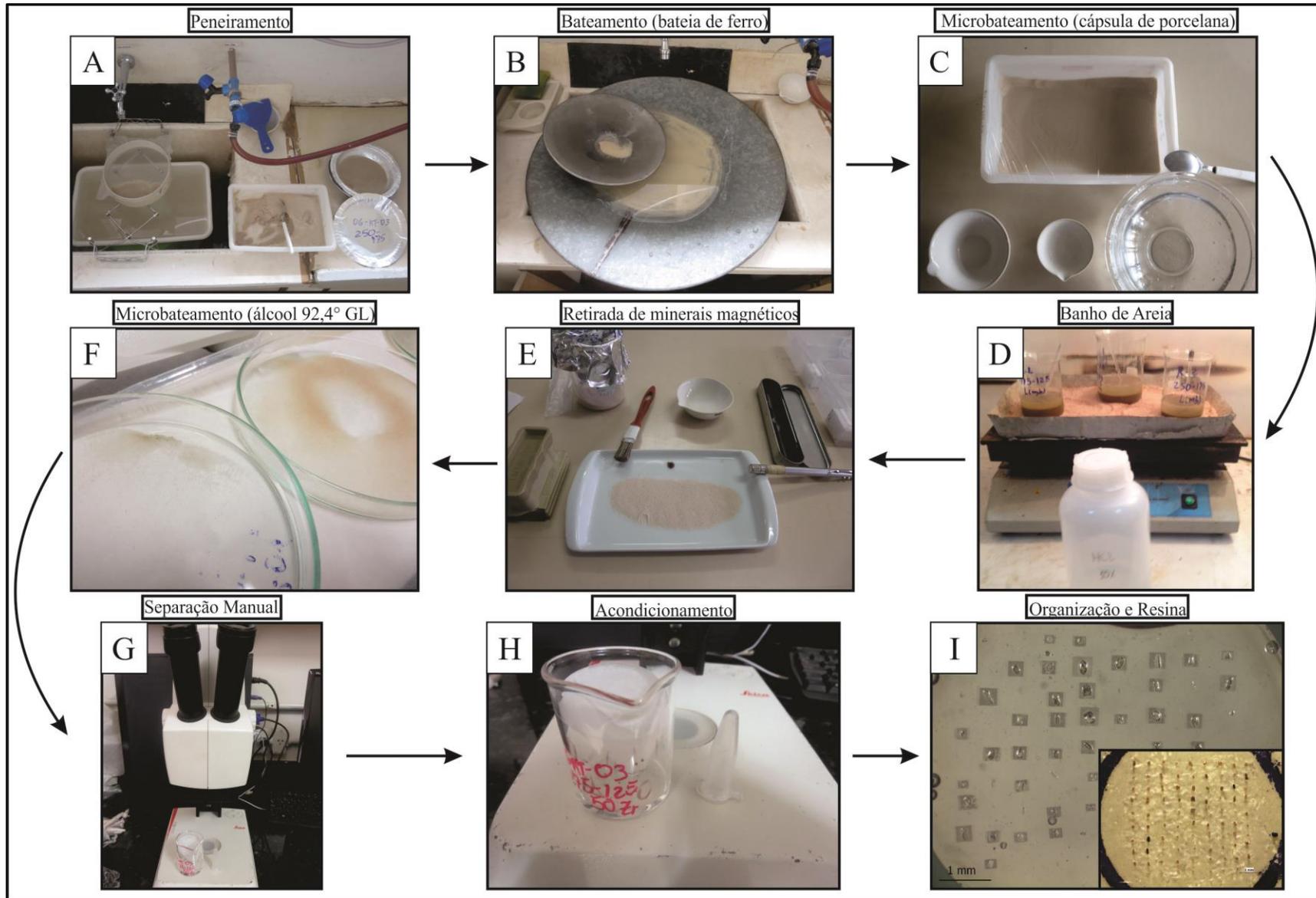


Figura 2.2 – Sequência de procedimentos para separação e organização dos grãos detríticos de zircão efetuados para cada uma das amostras.

2.6 PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR

Os estudos de proveniência sedimentar são importantes para propor hipóteses de reconstituições de relações entre áreas fontes de sedimentos e bacias sedimentares. Estes estudos se baseiam em uma variedade de métodos e técnicas analíticas, principalmente utilizando minerais pesados como granada, rutilo, zircão, dentre outros e a combinação destas análises com a petrografia, composição de feldspatos, tipologia de quartzo e tipos de fragmentos de rocha que permitem associar os sedimentos aos ambientes e/ou unidades onde foram formados (Remus *et al.* 2008).

Análises geocronológicas e morfológicas de grãos detríticos vêm sendo amplamente realizadas com o objetivo de determinar as idades das regiões fontes e características dos processos sedimentares envolvidos na evolução de uma bacia, necessárias para estudos de proveniência. Como dito anteriormente, devido ao aumento da resolução analítica de equipamentos modernos de espectrometria de massa, como o MC-ICP-MS, a análise geocronológica de zircão tornou-se uma importante ferramenta neste tipo de estudo, pois fornece diretamente a idade das rochas ígneas ou metamórficas dos terrenos-fonte (Remus *et al.* 2008). Além disso, análises morfológicas de grãos detríticos de zircão podem melhor caracterizar as populações provenientes de diferentes fontes e fornecer indicações de distância e meios de transporte percorridos pelos sedimentos (Gartner *et al.* 2013).

O zircão é utilizado por ser um mineral acessório ultraestável que, portanto, resiste a muitos processos sedimentares. Além disso, é um mineral comumente encontrado como componente da assembleia de minerais pesados em arenitos e conglomerados. Corresponde a um silicato de zircônio ($ZrSiO_4$) com estrutura cristalina propícia a incorporar átomos de U que ao cristalizar dá início a um dos mais eficazes relógios geocronológicos da natureza. Considerando também a ineficácia da estrutura deste mineral em incorporar átomos de Pb, o zircão é, portanto, considerado isento de átomos filhos iniciais e funciona como um sistema fechado para o sistema geocronológico U-Pb, além de preservar sua integridade cristalina e sua assinatura isotópica em até 800° C (Silva 2006; Hanchar 2014).

2.6.1 Análise Quantitativa

Trabalhos como os de Vermeesch (2004) e Andersen (2005) foram realizados com a finalidade de orientar estudos de proveniência sedimentar na questão da quantidade de grãos que devem ser utilizados. Para o primeiro autor a amostra analisada deve ser representativa do

material detrítico presente e o número mínimo de grãos deve satisfazer um nível de conformidade estatística. Para esse autor 117 grãos de zircão são suficientes para que se tenha confiança de 95% de que todas as populações que contribuam em mais de 5% para o conteúdo detrítico da rocha, será analisado. Vermeesch (2004) não atribui este valor como regra e utiliza um gráfico que pode ser consultado para a situação de cada amostra a ser analisada. Este gráfico (Figura 2.3) ensaia diferentes quantidades de grãos (k) e suas probabilidades máximas ($P_{\text{máx}}$) de não ser caracterizado uma determinada população (f) que contribua entre 2% e 8,5% para o conteúdo detrítico. Em resumo, a quantidade de grãos deve ser maior quanto mais populações de diferentes fontes forem esperadas (Vermeesch 2004).

Segundo Andersen (2005) o número sugerido de grãos detríticos deve variar entre 35 e 70 e devem ser coletados aleatoriamente para que sejam representadas todas as populações fontes da rocha. Porém, esse autor considera apenas ser possível atingir as representações quantitativas mais próximas da realidade da história da proveniência e as noções do balanço de massa do material detrítico, utilizando números de grãos muito maiores que 100 e que números de zircão menores que isso apenas fornecem uma noção da verdadeira origem dos grãos (Andersen 2005). Para a confecção deste trabalho, dado as duas sugestões discutidas acima, foram utilizados os limites de 35 a 130 grãos para cada uma das amostras que foram analisadas.

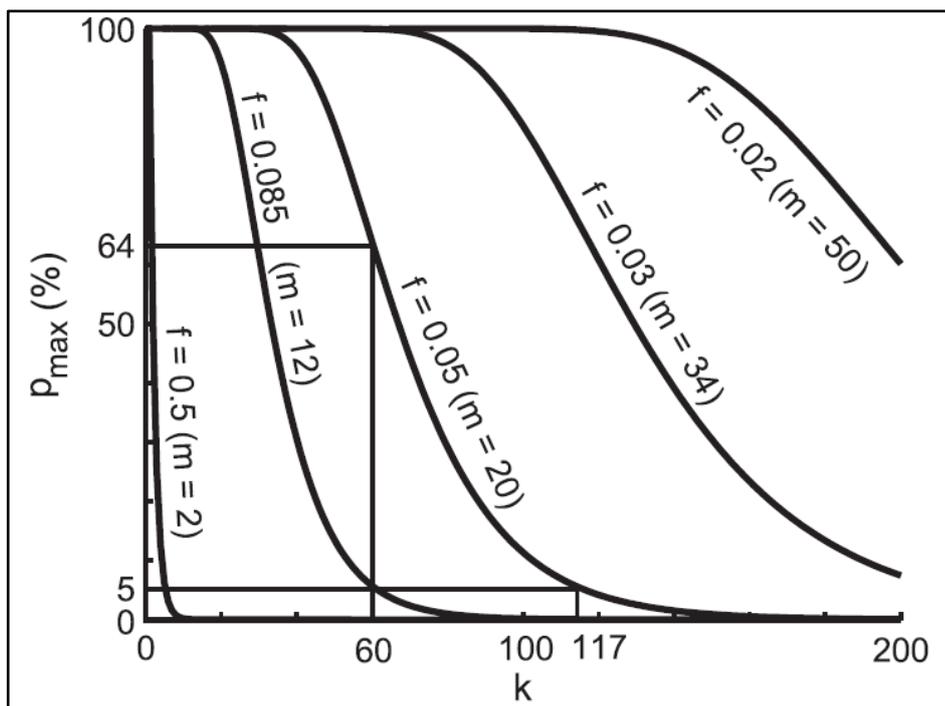


Figura 2.3 – Gráfico que relaciona a probabilidade máxima de não se caracterizar uma população de grãos que contribuem entre 8,5% e 2% (f) e número de grãos (k) que devem ser utilizados; m = número de populações (Vermeesch 2004).

2.6.2 Análise Morfológica

As análises morfológicas dos grãos detríticos de zircão foram realizadas de acordo com a classificação de Gartner *et al.* (2013), que utiliza como parâmetros o arredondamento, a alongação e as características de superfície para realizar inferências acerca da distância e meios de transporte que carrearam os grãos detríticos.

Para estudos morfológicos de cristais de zircão de origem magmática, Corfu *et al.* (2003) atribui a diferentes ambientes petrogenéticos características morfológicas baseadas na alongação, forma, tamanho e características texturais internas dos grãos. Estes autores, baseando-se em Pupin (1980), sugeriram métodos baseados também nas relações interfaciais dos grãos que fornecem informações sobre as condições de pressão e temperatura de cristalização do zircão.

Em Gartner *et al.* (2013) se faz a tentativa de aplicação de uma metodologia tão eficaz quanto a de Corfu *et al.* (2003) e Pupin (1980) que forneça informações voltadas a processos sedimentares a partir da inter-relação de características morfológicas, sendo estas informações referentes a distância percorrida pelo grão, tipo de transporte ou indícios de retrabalhamento de sedimentos em rochas sedimentares ou metassedimentares. Estas análises morfológicas foram realizadas com auxílio de lupa binocular e imagens de catodoluminescência (CL) e elétron restroespalhado.

Neste trabalho os grãos foram classificados, dentre as diferentes amostras coletadas, em euédricos, subédricos, subarredondados, arredondados e esferoides (Figura 2.4 A). Além disso, as dimensões dos grãos foram determinadas e com isso foi possível calcular o grau de alongação dos mesmos (Largura/Comprimento), visando classifica-los com base na proposta de Gartner *et al.* (2013), e representada na Tabela 2.2 e Figura 3.4 B.

Foram classificados, também, tipologicamente os grãos detríticos de zircão, com auxílio de imagens de catodoluminescência (CL) e elétron-retroespalhados. Esta classificação, baseada em Corfu *et al.* (2003), reúne, em populações distintas, grãos de origem magmática ou grãos que foram submetidos a metamorfismo (grãos metamórficos). Os primeiros são caracterizados por apresentar zonas contínuas refletindo o maior ou menor enriquecimento de urânio, que aparecem, respectivamente, com menor ou maior luminescência na imagem. Esta feição é identificada pela presença de zoneamento oscilatório que pode ocorrer de forma concêntrica, setorial, convoluta ou incipiente (Figura 2.5 A, B, C e D). A população de grãos

metamórficos, afetada por processos geológicos de pressão e temperaturas intensos, são caracterizados pela perda deste zoneamento e aparecem de forma homogênea (Figura 2.5 E). Além destes, ocorrem grãos metamitizados, caracterizados pela baixa luminescência com tons escuros e cinzas indissociáveis devido seu desarranjo estrutural (Figura 3.8 F).

Os grãos descritos como metamórficos, são grãos detríticos caracterizados por feições resultadas de processos metamórficos. A ausência de zoneamento ou alteração da estrutura interna dos grãos ou presença de bordas de intercrescimento em grãos herdados são algumas destas feições (Rubbato, 2017). Apesar de comumente se atribuir razões $Th/U < 0,1$ a grãos metamórficos, este não foi um critério utilizado para esta classificação, devido também haver casos de zircões metamórficos com valores bem maiores e variados quando submetidos a metamorfismo de médio a alto grau, ou ainda dependendo das fases minerais que cristalizaram junto com os grãos de zircão (Harley *et al* 2007).

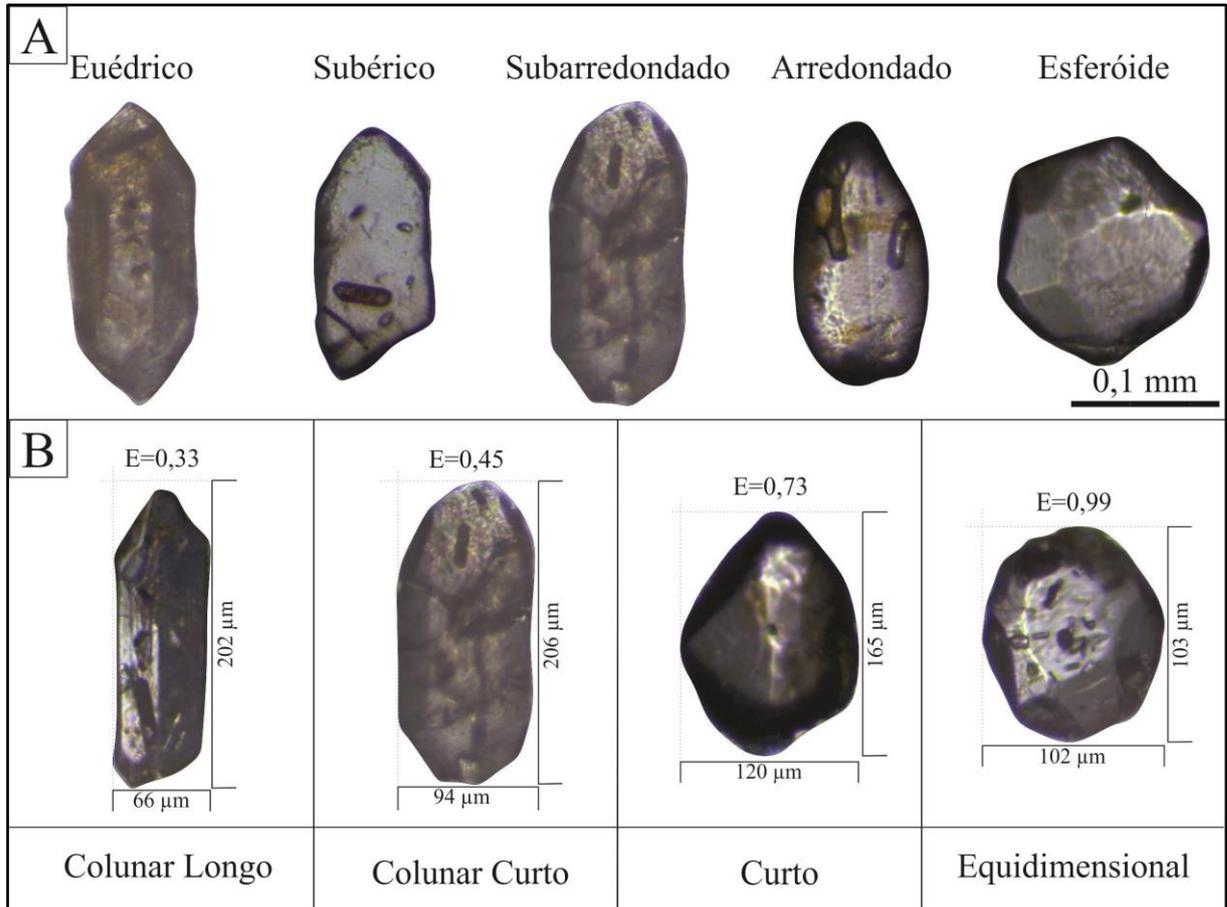


Figura 2.4 – Exemplificação da classificação morfológica dos grãos detríticos de zircão utilizando os minerais coletados na amostra 07-RL-10, representativa da fácies conglomerática do Segmento Oeste da Formação Piriá. A) classificação qualitativa quanto as formas externas dos grãos. B) representações da classificação quantitativa dos graus de alongação dos mesmos.

Tabela 2.2 – Classificação para os intervalos de graus de alongação dos grãos, baseado em Gartner *et al.* (2013).

Largura/Comprimento	Classificação
<0,15	Acicular
0,15-0,35	Colunar Longo
0,36-0,60	Colunar Curto
0,61-0,85	Curto
>0,85	Equidimensional

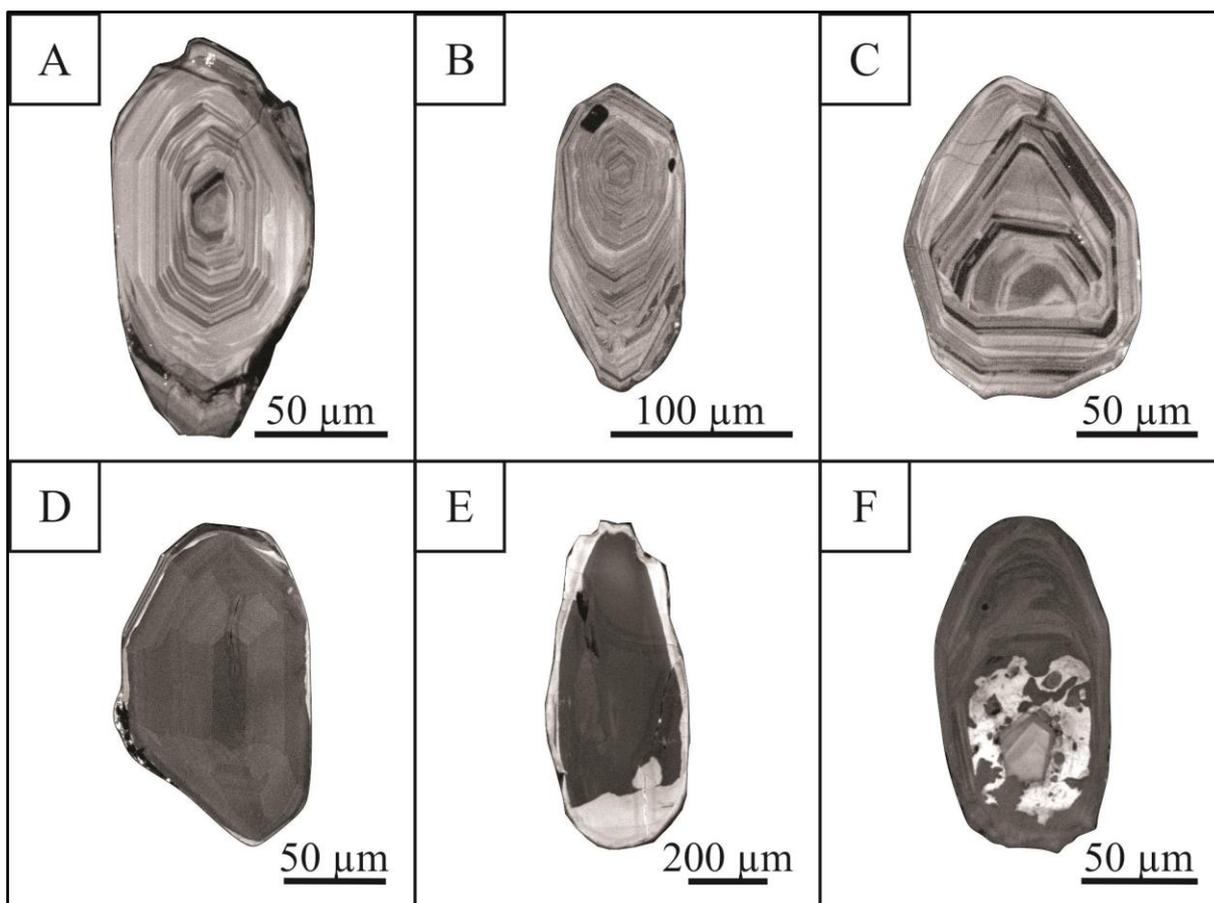


Figura 2.5 – Representatividade tipológica das principais populações de grãos de zircão exemplificando zoneamento oscilatório concêntrico (A), setorial (B), convoluto (C), incipiente (D), sem zoneamento ou metamitizado (F), baseados em imagens de CL da amostra 16-RP-04 correspondentes aos grãos C7, C6, G3, D5, F2 e B9, respectivamente de A à F, presentes no Anexo 1.

2.6.2.1 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

A técnica geocronológica aplicada neste trabalho permite a análise pontual em grãos detríticos de zircão. O imageamento por CL, portanto, fez-se necessário para que se determinasse em que ponto, ou em que porções do grão, exatamente seriam feitas as análises, além de evitar análises em porções metamíticas dos grãos. Este imageamento foi realizado no Laboratório de Microanálises – MEV e Microsonda do Instituto de Geociências da UFPA.

O mecanismo de funcionamento do MEV exige que as amostras analisadas sejam condutoras para que haja interação entre o feixe de elétrons emitido e o analito (amostra). Para isso, deve-se metalizar a superfície da amostra para que haja eficácia na emissão de elétrons e assim se forme as imagens de forma nítida (Goldstein *et al.* 1992). São variadas as formas de metalização de amostras. Neste trabalho, foi realizada metalização com ouro em uma câmara de pressão da marca Emitech, modelo K550X, que depositou sobre as seções de zircões uma camada de Au com cerca de 5 nm de espessura.

O equipamento utilizado para a confecção das imagens foi o MEV Zeiss, modelo SIGMA – VP com catodoluminescência Gatan, modelo Chromac CL2 acoplada, pertencente ao ITV (Instituto Tecnológico Vale). A operação do equipamento ocorreu sob os parâmetros 80 μ A como corrente de feixe de elétrons e voltagem constante de 20 kV.

2.6.3 Análise Geocronológica

A metodologia aplicada para a análise geocronológica dos grãos detríticos de zircão foi baseada no decaimento radioativo dos isótopos ^{238}U e ^{235}U para isótopos ^{206}Pb e ^{207}Pb , respectivamente. Este é um processo natural que cessa apenas quando todos os átomos de U se transformam em átomos de Pb estáveis. Entre o início e o fim deste processo pode-se verificar quanto tempo passou (idade do grão) desde que os primeiros átomos de U começaram a decair radioativamente, ou seja, indica o momento em que ocorreu a cristalização do grão. (Allègre 2008).

Por conceito, segundo Allègre (2008), entende-se a radioatividade como o “fenômeno pelo qual certos núcleos se transformam (transmutam) espontaneamente em outros núcleos emitindo partículas ou radiações”. No sistema geocronológico U-Pb, o decaimento ocorre emitindo-se partículas α e β em uma sucessão de emissões até atingir estabilidade na forma de isótopos de Pb.

Os processos de decaimento radioativo dos isótopos de U (^{238}U e ^{235}U) formam um sistema geocronológico classificado como interdependente e bivariante (Silva 2006). Estas características permitem que a interpretação das razões isotópicas medidas se deem em comparação entre os “relógios” $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$. Cada um destes relógios geocronológicos apresenta características distintas de tempo de meia vida e constante de decaimento, que implica também na diferenciação do caminho seguido pela sucessão de emissão de partículas radioativas durante o processo de decaimento (Figura 2.6).

Os tempos de meia vida das reações indicam que as velocidades as quais as duas cadeias de decaimento ocorrem são diferentes e, portanto, tem uma forma particular de serem interpretadas. Wetherli (1956) e Tilton (1960) propuseram a interpretação de dados de U-Pb a partir da análise de um digrama onde é plotada a chamada curva de concórdia que inter-relaciona os dois relógios geocronológicos formando uma linha teórica que liga pontos representativos de uma mesma idade e diferentes razões isotópicas $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ (Figura 2.7 A e B). De acordo com Wetherli (1956) esta linha representa as respectivas razões

isotópicas para uma determinada idade considerando o mineral analisado como um sistema fechado. Porém, apesar da estabilidade do zircão, eventuais perdas de Pb da estrutura cristalina do mineral podem ocorrer e, portanto, quando plotadas, estariam fora da curva concórdia, caracterizando os cristais discordantes, que, dependendo do grau de discordância, podem ou não serem levados em consideração na fase de interpretação dos dados.

Nestes casos, uma linha interligando os dados de razões isotópicas formariam uma linha discordante que interceptaria a curva concórdia em dois pontos, um interseção superior, comumente interpretado como a idade de cristalização do grão, e um interseção inferior, que pode ser considerado como representativo da idade de eventos que propiciaram a perda de Pb. Para isso é assumido que esses eventos tenham causado uma perda episódica de Pb, que, de certa forma, “reinicia” em algum grau o sistema do mineral (Allègre, 2008).

Tilton (1960) apresenta uma diferenciação ao modelo anterior em relação ao fato de não considerar perdas episódicas de Pb mas sim perdas contínuas que forneceriam, portanto, idades de cristalização mais antigas. Para estudos de proveniência sedimentar, as idades obtidas no diagrama concórdia devem ser representadas em diagramas de probabilidade de idades cumulativas das rochas fontes ou histogramas de frequência de distribuição de idades. Este procedimento permite a melhor distinção de fontes que tenham contribuído fornecendo material detrítico para a bacia (Fedó *et al.* 2003; Figura 2.7 C e D).

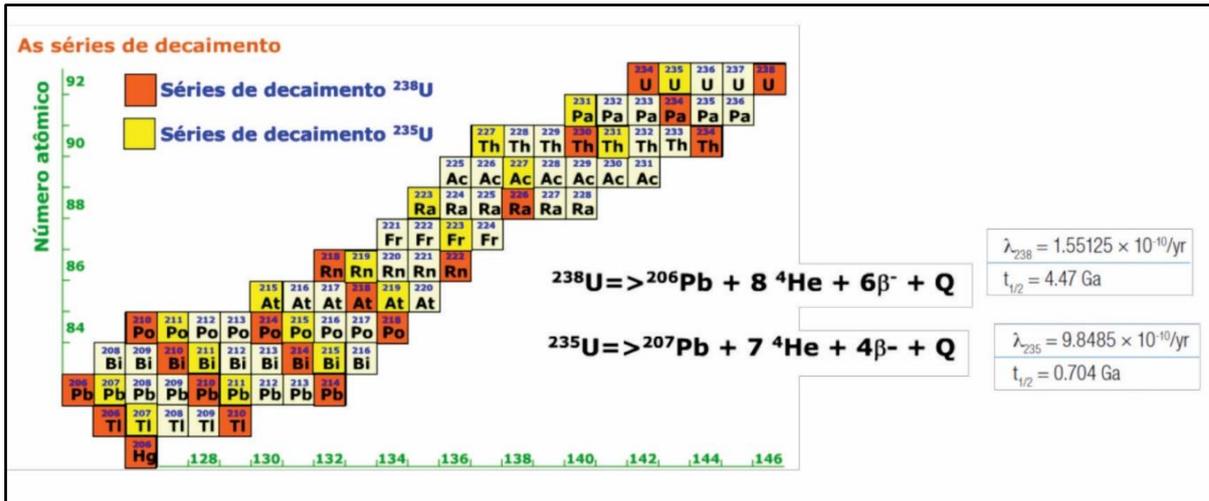


Figura 2.6 – Série de decaimento radioativo dos isótopos de U diferenciados por cor e dispostos em diagrama que relaciona número atômico com número de núcleões. São mostradas também as reações envolvidas nos diferentes decaimentos, valores de meia vida e constantes de decaimento (Fonte: Dickin 2005).

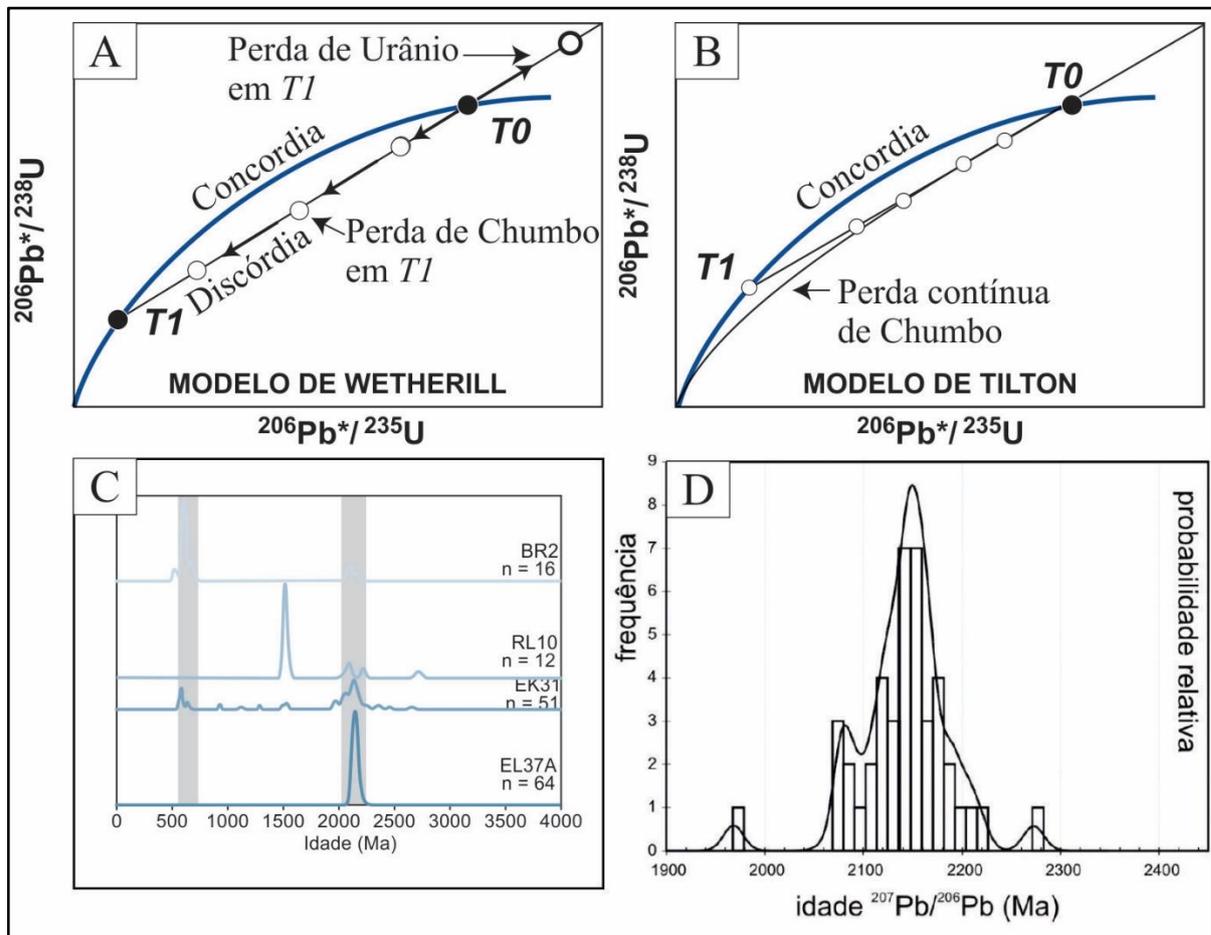


Figura 2.7 – Diagramas de concórdia para interpretação de dados de razões isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$, mostrando os dois tipos de abordagem através dos modelos de (A) Wetherill (1956) e (B) Tilton (1960). Em (C) a probabilidade de idades cumulativas para grão de zircão detrítico da Formação Piraí. Em (D) o histograma de distribuição de idades de grão detríticos da Formação Igarapé de Areia. (Fonte: Allègre 2008; Lopes *et al.*, 2016; Klein 2015).

2.6.3.1 Microsonda Laser conectada a um Espectrômetro de Massas com Multicoletores e Plasma Indutivamente Acoplado (LA-MC-ICP-MS)

A determinação das razões isotópicas nos sistemas U-Pb ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$) foi realizada por espectrometria de massa que tem como princípio básico a medição da composição isotópica através da ionização de átomos de um determinado elemento em uma câmara de vácuo (Allègre 2008). A técnica de LA-MC-ICP-MS é baseada em uma das formas de ionização das amostras que ocorre a partir de um plasma induzido por um campo elétrico.

A análise geocronológica de grãos detríticos de zircão exige a inserção da amostra no aparelho na forma sólida que tem pontos vaporizados por um feixe de laser. Este vapor é convertido por um nebulizador em um aerossol disperso em uma corrente de gás hélio, que é sugado para a câmara de nebulização, onde os átomos evaporados são ionizados e posteriormente transportados até o espectrômetro de massa (Allègre 2008). Este procedimento permite a datação *in situ* dos grãos de zircão e determinação de idades de vários pontos do cristal ou do grão, sendo o laser incidido variando de 25 a 50 μm de diâmetro.

Os dados geocronológicos foram obtidos a partir do espectrômetro de massa modelo Neptune do fabricante Thermo Fischer Scientific. Este aparelho é composto pelos módulos ICP, ESA e Multicoletores (Figura 2.8). O módulo ICP é responsável pela etapa de geração do plasma a ser utilizado e abrange controladores de fluxo de fornecimento de argônio; além da potencialização do plasma; impedância da tocha, onde ocorre ionização; e a câmara de nebulização. O módulo ESA tem a função de concentrar e acelerar os íons gerados, que atingem o analisador eletrostático (ESA) onde íons com diferentes energias iônicas são desviados e incididos em diferentes direções, de acordo com suas respectivas massas. (Finnigan Neptune – Hardware Manual, 2004).

O módulo multicoletor, que corresponde a seção final do aparelho, abrange o elétron ímã, que dispersa os íons ópticos de acordo com sua energia iônica e massa; os zons ópticos, localizados antes e depois do eletro ímã que servem para corrigir dispersões de massas; os multicoletores, que coletam as diferentes massas e energias iônicas simultaneamente em detectores denominados Copos de Faraday; e os amplificadores onde ocorre a digitalização dos dados (Finnigan Neptune – Hardware Manual, 2004).

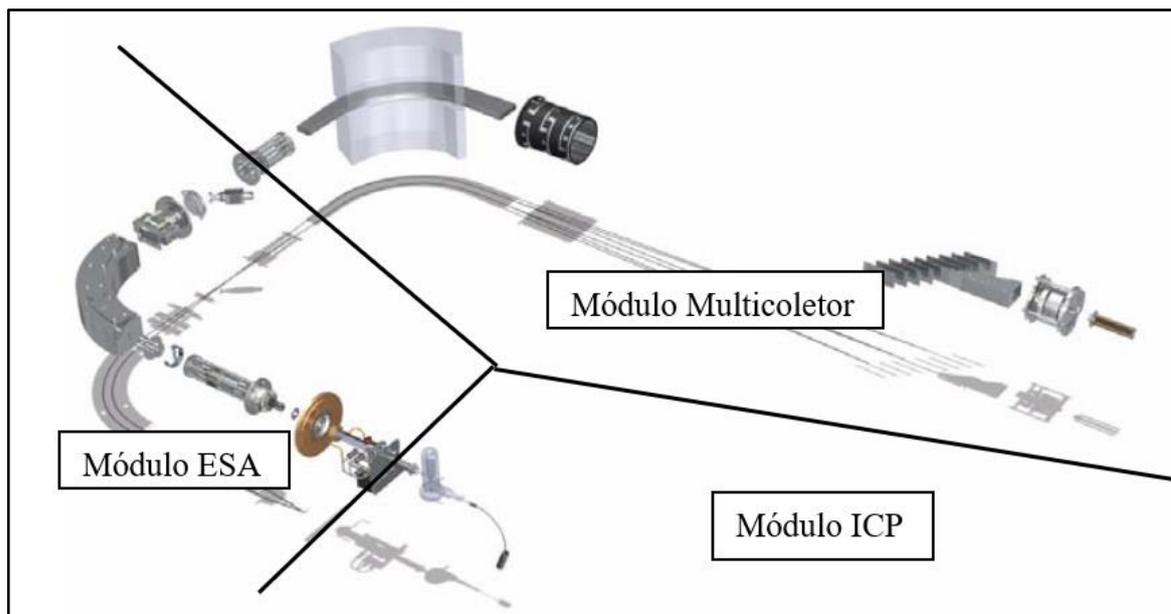


Figura 2.8 – Componentes do Netuno Finnigan (Fonte: Finnigan Neptune – Hardware Manual, 2004)

2.6.3.2 Análises U-Pb por LA-MC-ICP-MS no Laboratório Pará-Íso (IG/UFPA)

Para a realização desta etapa, as pastilhas com zircão foram primeiramente limpas com a finalidade de se retirar a camada de Au posta no processo de metalização. Foi feito inicialmente o polimento da superfície das pastilhas com pasta de diamante. Em seguida, cada pastilha foi levada ao aparelho de ultrassom durante 2 min em saco plástico adicionado a água e detergente neutro comum. Posteriormente foi realizada a limpeza com éter de petróleo e, novamente, colocado em saco plástico contendo água Milli-Q posto no aparelho de ultrassom durante 5 min e por fim secadas em estufa a 50° C durante 1 hora.

A etapa de determinação da composição isotópica é feita no espectrômetro de massas conectado a uma microsonda laser modelo LSX-213 fabricado pela CETAC Technologies-Photon Machines de acordo com os parâmetros específicos para este fim (Figura 2.9). O roteiro aplicado no laboratório Pará-Íso/UFPA exige que as análises pontuais dos grãos de zircão ocorram em grupos de 10 em 10 (10A), intercalados com os valores de branco (B) e com o Padrão GJ-1 (P) da GEMOC ARC National Key Center (Austrália) exprimindo, portanto, a sequência B-P-10A-B-P.

Foram utilizadas, para discutir proveniência sedimentar, as idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, pois, segundo Kalsbeek *et al.* (2008), estes dados são suficientes para distinguir populações que caracterizam as rochas fontes contribuintes de bacias e são, portanto, as que servem de base para confecção dos histogramas de distribuição de idades cumulativas.

Para realizar o cálculo destas idades, aplicou-se a sistemática descrita em Chemale *et al.* (2012) que utiliza o programa ISOPLOT/EX 3.0 de Ludwig (2003), que permite também realizar correções da contribuição do chumbo comum (^{204}Pb), baseando-se no modelo de Stacey e Kramers (1975) de evolução do Pb terrestre ao longo do tempo, além de confeccionar os diagramas concórdia e histogramas de idade cumulativas.

Dentre os grãos analisados tem-se que 309 grãos são concordantes ou apresentam graus de concordância entre 95% e 105%. Neste trabalho, o grau de concordância aparece na coluna “Conc % - 6/8-7/6” nas tabelas do Anexo 2 e representam a razão entre as idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ multiplicados por 100.

PARÂMETROS LABORATORIAIS

<i>Posição</i>			<i>L4</i>		<i>L3</i>	<i>Axial</i>	<i>H2</i>	<i>H4</i>
<i>Coletores Faraday</i>	220 Hg	²⁰⁴ Hg ⁺ ²⁰⁴ Pb	206 Pb	207 Pb	208 Pb		232 Th	238 Pb
<i>Multiplicadores de Íons</i>	MIC 3	MIC 4		MIC 6				



Condições de Operação		Instrumento	Neptune (Thermo Finnigan)
Instrumento	LSX - 213 G2 da CETAC Technologies Photon Machines	Fonte de Íon	
Diâmetro do Furo	25 µm	Potência	1200 W
Energia	50-60%	Fluxo de Gás	Ar Resfriador: 15 L/min Ar Auxiliar: 0,8 L/min Ar Transporte: 0,75 L/min (Ar) + 0,45 L/min (He)
Frequência	10 Hz	Extração	-2000 V
Fluxo de He	0,6 L/min	Modo de Análise	Estático
		Deteção	Coletores de Faraday e MIC's
		Aquisição de Dados	40 Ciclos
		Tempo de Integração	1,049 s
		Nº de Integrações	1

Figura 2.9 – parâmetros laboratoriais referentes as análises isotópicas realizadas no Laboratório Pará-Iso do Instituto de Geociências da UFPA. (Fonte: Oliveira, 2015).

3 RESULTADOS

3.1 GEOLOGIA DOS SÍTIOS AMOSTRADOS

As relações de contato entre as formações Igarapé de Areia e Piriá e destas com unidades adjacentes não foram observadas nos trabalhos de campo devido à ausência de afloramentos que evidenciassem contatos geológicos. A Tabela 3.1 relaciona os pontos amostrados e as respectivas unidades e rochas a que correspondem. As amostras estão plotadas no mapa da Figura 3.1 onde é possível ver os diferentes segmentos das formações sedimentares estudadas neste trabalho além dos contatos, estruturas e unidades geológicas presentes no enquadramento da área de estudo.

A Formação Igarapé de Areia, amostrada na margem leste do Rio Gurupi, está exposta na forma de blocos rolados (Ponto 16-RP-04). Macroscopicamente são vistas estruturas sedimentares marcantes na forma de estratificações cruzadas acanaladas acentuadas por níveis de minerais opacos (Figura 3.2 A). São rochas de coloração avermelhada, granulação média e com presença de quartzo, micas e feldspatos.

No ponto 06-KT-03 é visto arenitos arcoseanos esbranquiçados e avermelhados também com as mesmas estruturas sedimentares da amostra anterior. O afloramento é localizado próximo a localidade de Baixinhos e ocorre na forma de cristas alongadas e estreitas (Figura 3.2 B) de aproximadamente 3 metros de espessuras e de até 20 metros de desnível facilmente vistas em imagens SRTM (detalhe da Figura 3.1).

Estes afloramentos provavelmente são os mais representativos das rochas da Formação Igarapé de Areia pois preservaram *in situ* as estruturas sedimentares tais como estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte e cruzadas tabulares, desenhadas por níveis de minerais opacos, predominantemente magnetita (Figura 3.2 C e D) que são feições características desta unidade.

A Formação Piriá, como já mencionado anteriormente e de acordo com o mapa geológico da Figura 3.1, ocorre em dois segmentos distintos denominados Segmento Leste, menos extenso e presente na margem leste do Rio Gurupi, e Segmento Oeste de maior perímetro, localizado a oeste deste mesmo rio e intersectado pelo Rio Piriá.

No ponto 16-RP-02, no leito do rio Gurupi, ocorrem afloramentos *in situ* referentes ao Segmento Leste desta formação, localizados próximo a entrada do Rio Gurupi-Mirim

(Figura 3.3 A). São caracterizados por a intercalação de arenitos e siltitos acamadados que mergulham 35° na direção 080° Az. As Figura 3.3 B e C mostram uma alternância relacionada as camadas que formam este pacote rochoso, onde os leitos de arenito de granulação fina, estão mais espessas na base, cerca de 30 cm, e delgadas em direção ao topo, 3-4 cm. A tendência contrária acontece com as camadas de siltito as quais alcançam até 20 cm de espessura no topo (Figura 3.3 D).

Os pontos 04-KT-02 e DDG-226 são referentes ao Segmento Oeste da Formação Piriá e correspondem aos arcóseos descritos em Lopes *et al.* (2016) de coloração cinza esverdeado, de granulação fina e laminação plano-paralela compostos predominantemente por grãos quartzo (60%), feldspato e minerais opacos, além de zircão, granada, epidoto, sericita, clorita e turmalina. O ponto 07-RL-10 é referente a amostragem da fácies conglomerática da Formação Piriá, localizada na margem ocidental do Segmento Oeste. Está exposta principalmente em voçorocas ocorrentes em margens de estradas (Lucas *et al.* 2009). Macroscopicamente estas rochas compreendem em orto- e paraconglomerados oligomíticos (Figura 3.3 E e F) com arcabouço fechado composto por seixos de quartzo variando de 0,5 cm a 6 cm.

Tabela 3.1 – Tabela de pontos amostrados neste e em trabalhos anteriores. Os pontos 16-RP-01 e 16-RP-03 serviram de pontos de controle durante a campanha de campo.

Coleta	Sigla	Formação – Rocha
Este trabalho	16-RP-02	Fm. Piriá – Arcóseo intercalado com pelitos (Segmento Leste)
	16-RP-04	Fm. Igarapé de Areia – Arenito com estratificação cruzada acanalada
Geóloga Keila Teixeira	06 – KT -03	Fm. Igarapé de Areia – Arenito com estratificação cruzada acanalada
	04-KT-02	Fm. Piriá – Arcóseos e grauvas intercalados com pelitos (Segmento Oeste)
Prof. Dr. Evandro Klein	DDG-226	Fm. Piriá – Arcóseos e grauvas intercalados com pelitos (Segmento Oeste)
Geólogo Rodrigo Lucas	07-RL-10	Fm. Piriá – Conglomerado Oligomítico

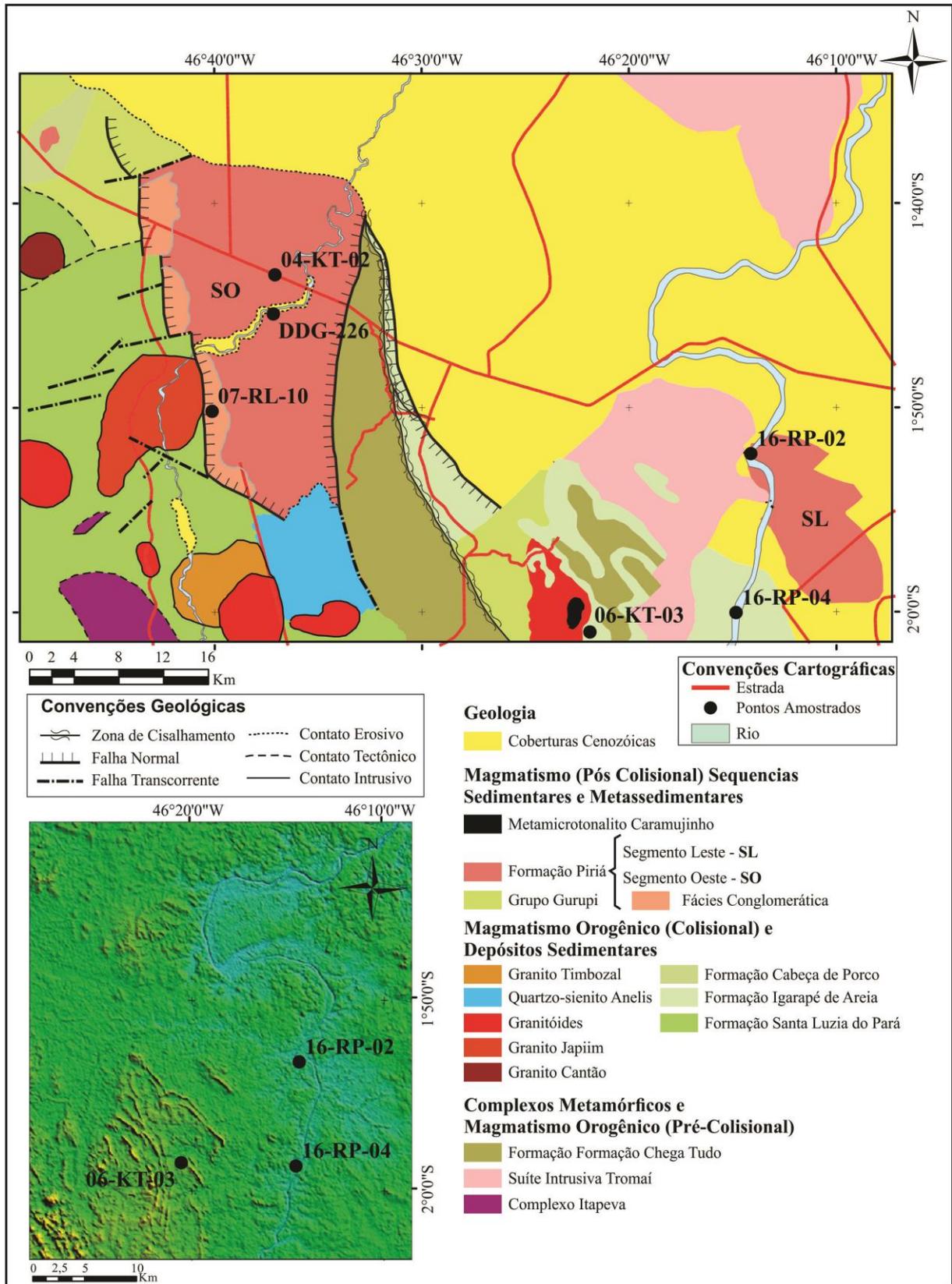


Figura 3.1 – Mapa geológico da área de estudo abrangendo estruturas tectônicas, contatos e unidades geológicas adjacentes às formações sedimentares estudadas, plotagem dos pontos amostrados, bem como imagem SRTM mostrando as cristas formadas por ocorrências da Formação Igarapé de Areia (Fonte: modificado de Lopes *et al.* 2016 e NASA 2000).

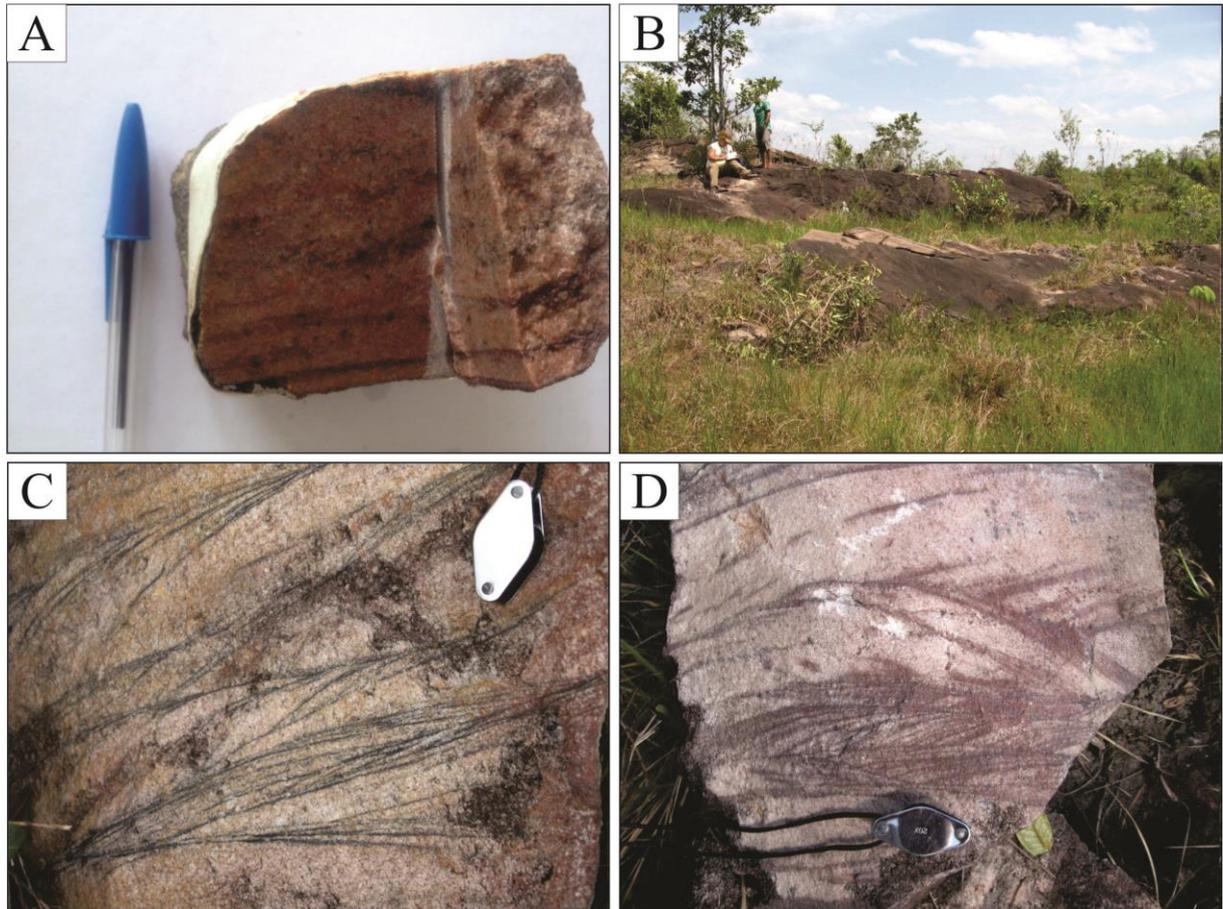


Figura 3.2 – Fotografias referentes a Formação Igarapé de Areia. A) Amostra petrográfica dos blocos rolados coletados no ponto 16-RP-04. B) Afloramento *in situ* desta unidade na forma de cristas estreitas e alongadas. C) e D) detalhe das amostras referentes a esta formação mostrando as diagnosticas estratificações cruzadas sobressaltadas pelos níveis de minerais opacos.

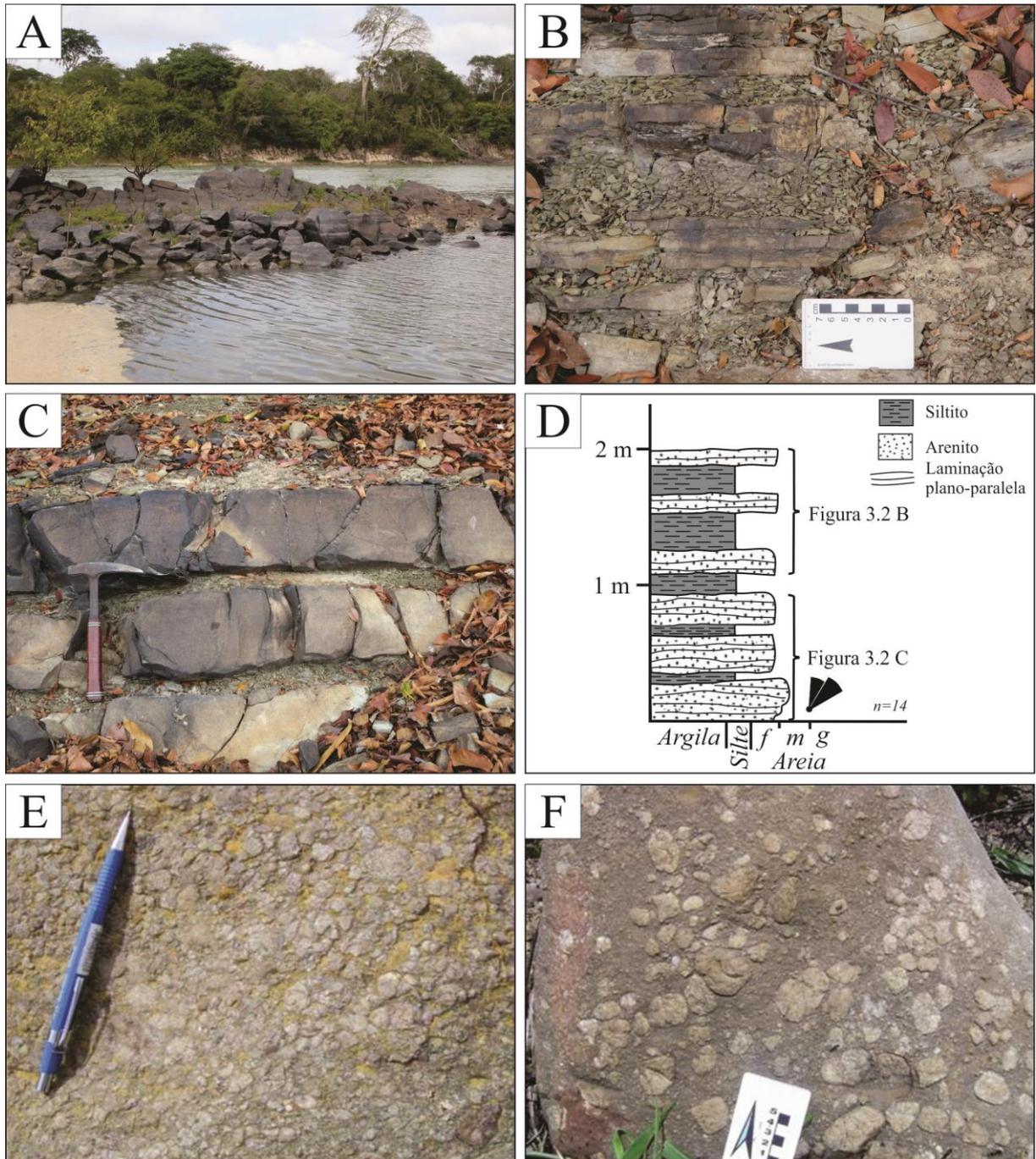


Figura 3.3 – Fotografias e seção colunar referentes a Formação Piriá. A) Afloramento *in situ* na margem do Rio Gurupi, próximo à entrada do Rio Gurupi-Mirim no ponto 16-RP-02. B) e C) detalhes deste afloramento exposto em (A) evidenciando a relação de alternância entre as camadas de arenitos e siltitos. D) seção colunar representativa deste afloramento. E) e F) relativo a porção conglomerática desta formação retiradas de Lucas *et al* (2009).

3.2 PETROGRAFIA

3.2.1 Formação Igarapé de Areia

Sob o microscópio, as rochas da Formação Igarapé de Areia referentes a amostra 16-RP-04, correspondem a arcóseos de granulação média, mal selecionados, subarredondados a subangulosos. Além de apresentar agrupamentos de magnetita (Figura 3.4 A). Apresenta mineralogicamente, em maiores proporções, quartzo, em sua maioria policristalinos e subordinadamente monocristalinos (Figura 3.4 B) e feldspatos, predominantemente potássicos, alterados para sericita, e em menores quantidades plagioclásio alterados para epidoto (Figura 3.2 C). Os grãos de quartzo e feldspato aparecem dispostos em uma matriz fina sericítica contendo muscovita e eventualmente grãos de zircão como mineral acessório (Figura 4.3 D).

De forma similar, na ocorrência desta formação amostrada no ponto 06-KT-03, as rochas são mineralogicamente constituídas por grãos de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio alterados para sericita, cujos grãos minerais apresentam-se bem preservados dispostos em uma textura clástica, além da ocorrência de muscovita, zircão e turmalina.

3.2.2 Formação Piriá - *Segmento Leste*

São correspondentes aos arenitos com estratificação plano-paralela de cor cinza esverdeado, intercalados com pelitos laminados. Foi confeccionado uma seção laminada referente a porção arenítica deste pacote rochoso. A composição predominantemente quartzo-feldspática e os baixos conteúdos de materiais líticos permitem classificar a rocha como arcóseos.

Sob o microscópio óptico é visto que esta rocha tem granulação fina, possui grãos mal selecionados e fábrica compactada. Apresenta composição modal dada por quartzo (45%), feldspato (38%) alcalino e plagioclásio alterados para sericita e epidoto, respectivamente, fragmentos de rochas (8%), muscovita (6%) e minerais acessórios (3%) como anfibólios, clorita, minerais opacos, sericita e epidoto, além de outros minerais pesados (Figura 3.5 A e B).

Os grãos de quartzo apresentam extinções ondulantes e homogêneas em contatos retos e curtos e, em algumas ocorrências, em pontos tríplices quando associados a feldspatos. Em relação a assembleia de minerais pesados, se fazem presentes epidoto, apatita, zircão e anfibólio.

3.2.3 Formação Piriá – Segmento Oeste – Fácies Arcóseo e Grauvacas

No Segmento Oeste da Formação Piriá, Lopes *et al.* (2016) reconheceram quatro fácies sedimentares designadas de arcóseos e grauvacas intercalados com pelitos (ap), siltitos e pelitos laminados (sp) arcóseo com estratificação *hummocky* (ah) e conglomerado oligomítico (cg). Obteve-se acesso, apenas, aos grãos de zircão de amostras correspondentes à ap os quais são descritos por Lopes *et al.* (2016) como composta predominantemente por quartzo (60%), feldspatos (35%) e, em menores quantidades, de minerais opacos, zircão, granada, epidoto, sericita, biotita, clorita e turmalina.

3.2.4 Formação Piriá – Segmento Oeste - Fácies Conglomerática

Petrograficamente, estas rochas foram classificadas em geral como conglomerados oligomíticos, predominantemente sustentados por matriz, contendo clastos bem arredondados de quartzo que ocorrem, em ordem decrescente de proporcionalidade, como quartzo policristalino e monocristalino (Figura 3.6 A). A rocha apresenta ainda grãos de muscovita, feldspatos alterados para sericita e fragmentos de rochas metavucanos sedimentares (Figura 3.6 B).

Algumas porções possuem matriz média à fina formada por grãos angulosos de quartzo, plagioclásio, muscovita e fragmentos de rochas muito finas. Os maiores seixos apresentam contatos pontuais, côncavos-convexos ou aparecem isolados circundados por matriz fina. Algumas vezes estes seixos apresentam fraturas preenchidas pelo mesmo material composicional dessa matriz. A porção menos grosseira desta fácies consiste em um conglomerado com grãos moderadamente selecionados e subangulosos (Figura 3.6 C), e com conteúdo de epidoto como alteração de grãos de plagioclásio (Figura 3.6 D).

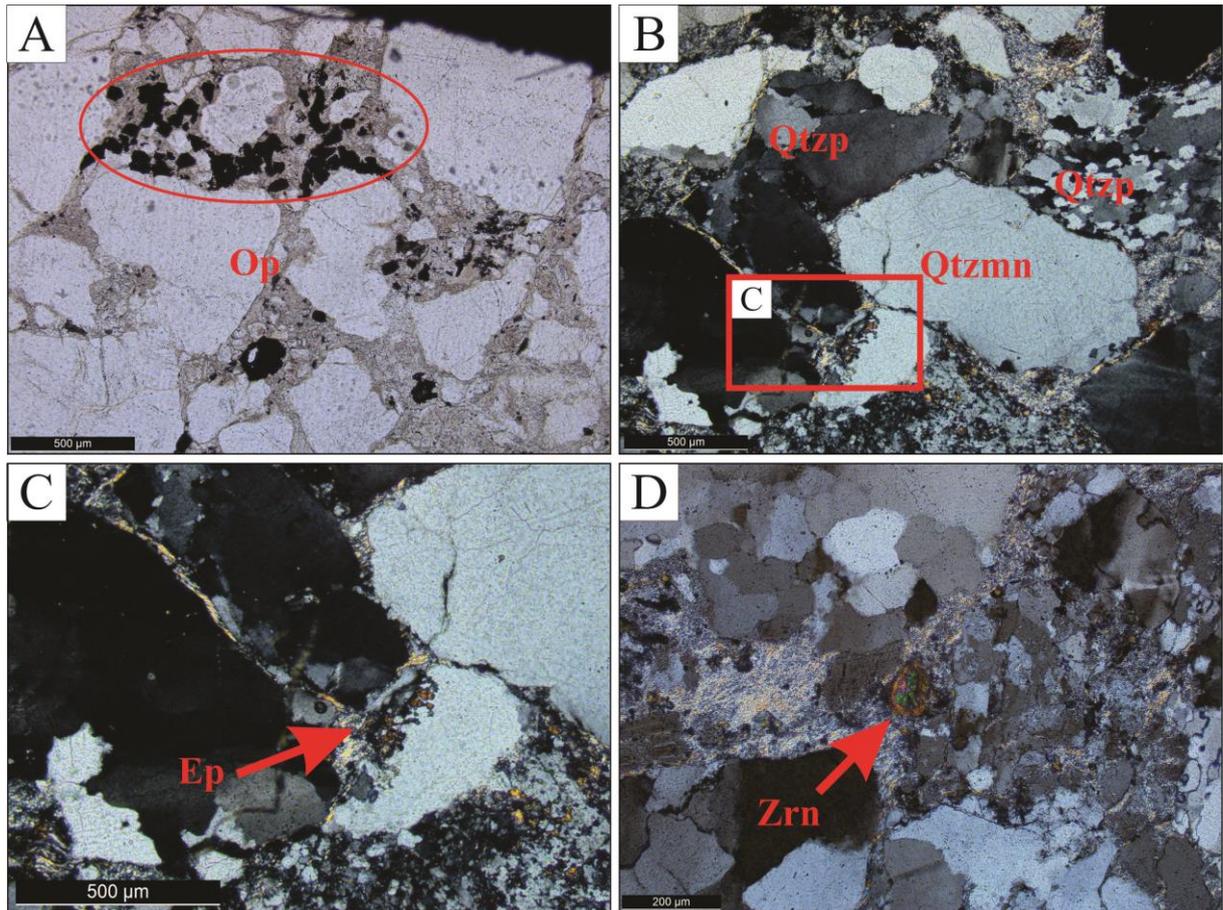


Figura 3.4 – Fotomicrografia da amostra referente a Formação Igarapé de Areia coletada no ponto 16-RP-04. A) sob luz natural, porções onde há acumulo de minerais opacos (Op). B, C e D correspondem a fotomicrografia sob nicóis cruzados B) variedade de tipos de quartzo presentes, monocristalinos (Qtzmn) e policristalino (Qtzp). C) ocorrência de epidoto (Ep) como produto de alteração dos plagioclásios. D) presença de zircão detrítico (Zrn) como mineral acessório.

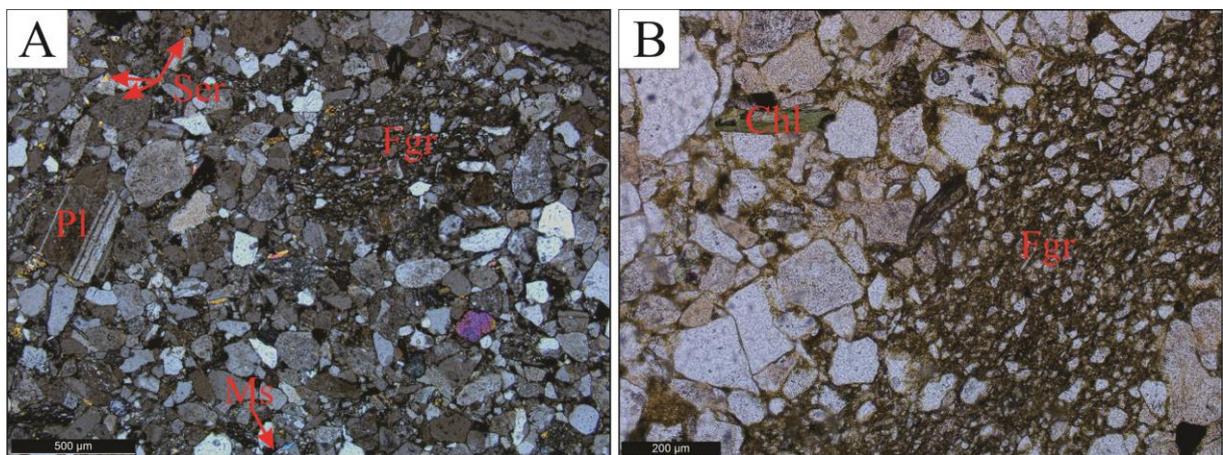


Figura 3.5 – Fotomicrografias da amostra coletada no ponto 16-RP-02. A) seção laminar sob luz polarizada evidenciando a má seleção de grãos, bem como o conteúdo mineralógico baseado em quartzo, predominantemente, plagioclásio (Pl) e K-feldspato, estes alterados para sericita (Ser), e grãos de muscovita (Ms). B) à luz natural é visto o detalhe do fragmento de rochas (Fgr) de granulação muito fina e cristais de clorita (Chl).

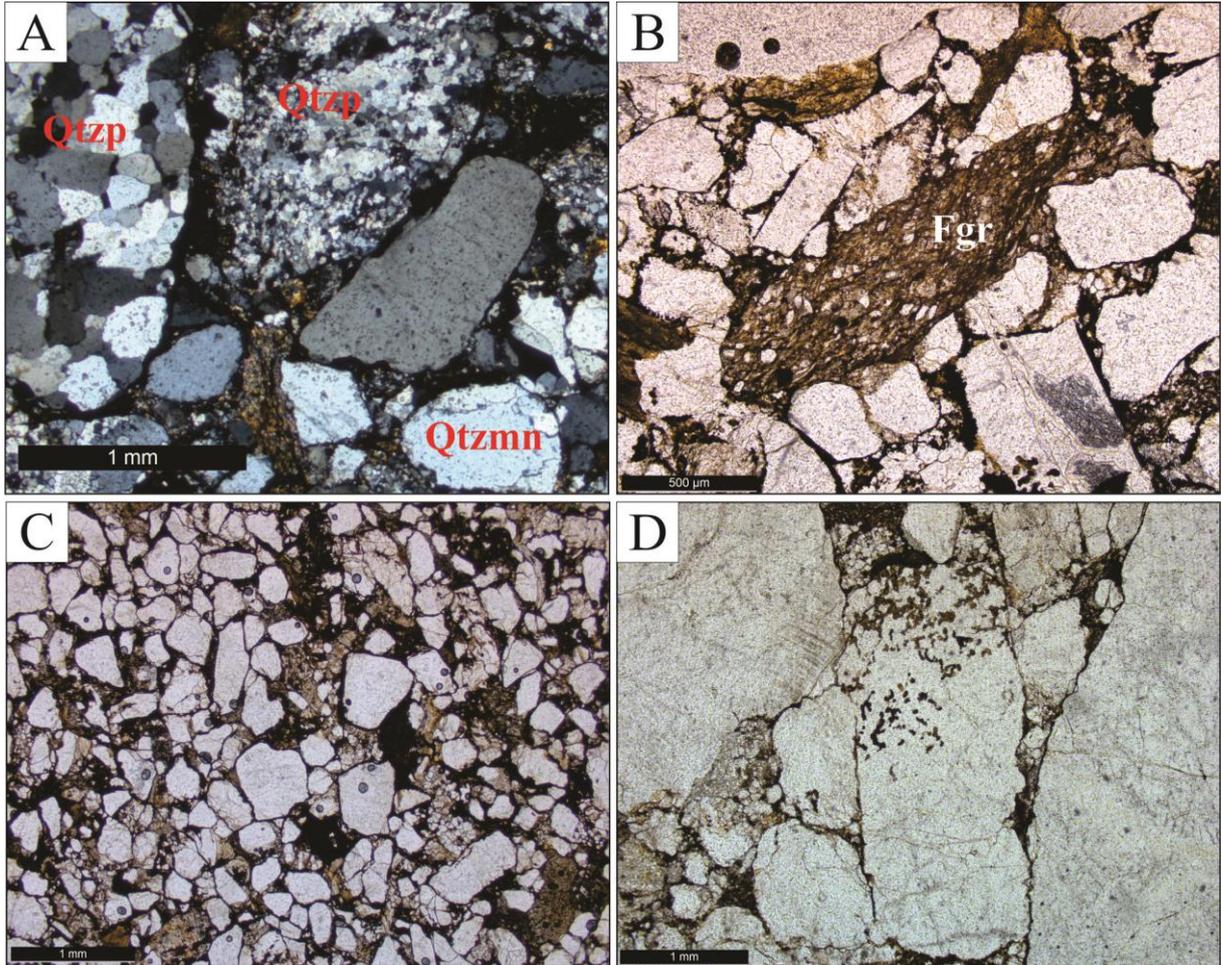


Figura 3.6 – Fotomicrografias dos conglomerados da Formação Piriá referente a amostra 07-RL-10. A) evidência da variedade de quartzos policristalino (Qtzp) e monocristalino (Qtzmn). B) fragmento de rocha (Fgr) metavulcanossedimentar contendo grãos de plagioclásio amendoados. C) textura das porções menos grosseiras desta fácies conglomerática contendo grãos subangulosos de quartzo. D) disseminação de epidoto como alteração de grãos de feldspato.

3.3 MORFOLOGIA E TIPOLOGIA DE ZIRCÕES DETRÍTICOS

3.3.1 Morfologia dos grãos detriticos da Formação Igarapé de Areia

Foram analisados 176 grãos detriticos de zircão referentes a esta formação coletados nas amostras 16-RP-04 (77) e 06-KT-03 (99). Para a primeira amostra (Figura 3.7 A) foram separados 19 grãos na fração granulométrica 175-125 μm , e 58 grãos no intervalo 125-75 μm . Nestas duas frações predominam grãos transparentes, porém grãos de tons marrons ou castanhos ocorrem subordinadamente. Quanto a morfologia externa (Figura 3.7 A1), os grãos subédricos são dominantes (39%). Em proporções intermediárias estão presentes grãos euédricos (22%) e subarredondados (21%). E em menores proporções ocorrem zircões detriticos arredondados (10%) e esferoides (8%).

A classificação tipológica destes grãos revelou predominância de grãos magmáticos (61%) e de forma secundária grãos metamórficos (25%), e de forma subordinada grãos metamáticos equivalendo a 14% (Figura 3.7 A2). Em termos de grau de alongação, a população principal é constituída de grãos colunares curtos (58%) e, subordinadamente, grãos curtos (34%), além de, em proporções menores de 5% e 3%, respectivamente, grãos colunares longos e equidimensionais (Figura 3.7 A3). As dimensões dos grãos para a fração mais fina variam em largura mínima e máxima no intervalo de 47-101 μm e em comprimento mínimo e máximo entre 85-221 μm . Por sua vez, para a fração 175-125 μm as larguras variam no intervalo 75-169 μm e os comprimentos variam entre 92-303 μm (Figura 3.7 A4)

A amostra 06-KT-03 (Figura 3.7 B) refere-se a outra ocorrência da Formação Igarapé de Areia e apresenta maiores quantidades de grãos translúcidos ou com tons mais escuros em relação a grãos transparentes. A morfologia externa destes grãos (Figura 3.7 B1) revela a predominância de grãos subarredondados (31%) e arredondados (26%), além de de grãos esferoides (14%). Subordinadamente há grãos angulosos subédricos (22%) e euédricos (7%). Quanto a tipologia dos grãos, assim como na amostra 16-RP-04, há como população dominante grãos magmáticos (73%) e de forma secundária grãos metamórficos (Figura 3.7 B2).

As dimensões dos grãos variam no intervalo mínimo e máximo de largura de 70-158 μm e de comprimento 94-265 μm (Figura 3.7 B3). Os graus de alongação dos grãos revelam predominância de grãos curtos (58%) e colunares curtos (31%), além de 10% de grãos equidimensionais (Figura 3.7 B4).

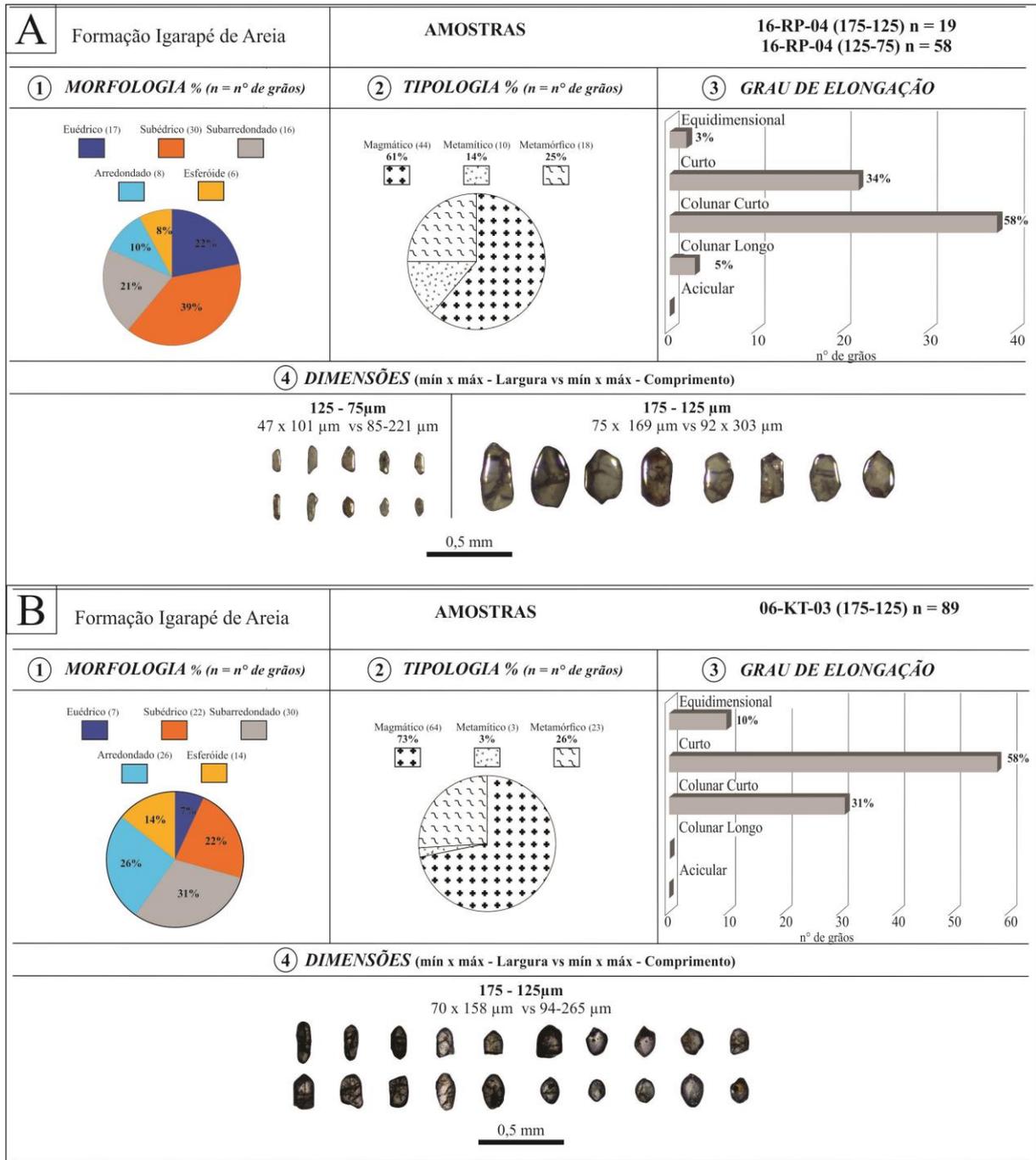


Figura 3.7 – Classificação morfológica e tipológica dos grãos detríticos de zircão referentes a diferentes amostras da Formação Igarapé de Areia, baseadas em imagens de estereomicroscópio e CL-MEV. A) relacionada a diferentes frações granulométricas da amostra 16-RP-04 e B) correspondente a amostra 06-KT-03. Os números representam os quesitos classificados, 1) Morfologia; 2) Tipologia; 3) Elongação; e 4) Dimensões dos grãos.

3.3.2 Morfologia dos grãos detríticos da Formação Piriá:

A amostra 16-RP-02 forneceu 73 grãos detríticos de zircão (Figura 3.8 A) que foram analisados, morfológicamente, em duas frações granulométricas (175-125 μm e 125-75 μm). Os grãos são em geral transparentes à translúcidos, sendo alguns com tons avermelhados ou amarronzados. Não há significativas diferenças em relação as formas externas e tipologia dos grãos de zircão entre as diferentes frações.

Com base na morfologia, os grãos são, predominantemente, subarredondados (33%) e subédricos (32%) e, em proporções subordinadas, arredondados (16%) e euédricos (16%) (Figura 3.8 A1). Apenas dois grãos esferoides aparecem dentre os coletados. Em termos da tipologia há predominância de grãos magmáticos (74%) em relação a metamórficos (15%) e metamíticos (11%) (Figura 3.8 A2).

Quanto ao grau de alongação dos grãos, nota-se a predominância de grãos colunares curtos (64%) em relação a quantidades de grãos curtos (25%). Além disso há 8% de grãos colunares longos e 3% equidimensionais (Figura 3.8 A3). As dimensões mínimas e máximas dos grãos varia nos intervalos 79-155 μm (largura) e 100-240 μm (comprimento) para a menor fração; e 54-219 μm (largura) e 95-273 μm (comprimento) para a fração intermediária (Figura 3.8 A4).

Os grãos detríticos de zircão referentes ao Segmento Oeste da Formação Piriá são correspondentes as amostras 04-KT-02, coletados na fração 125-75 μm , e DDG-226, referentes a fração granulométrica intermediária de 175-125 μm (Figura 3.8 B). Somou-se 158 grãos de zircão classificados de acordo com a morfologia (Figura 3.8 B1), preferencialmente, como subédricos e subarredondados (com proporções de 30% cada), e de forma secundária grãos arredondados (17%), e subordinadamente grãos esferoides (12%) e euédricos (11%). A classificação tipológica (Figura 3.8 B2) permitiu a determinação da proporcionalidade dominante de grãos magmáticos (64%) e subordinada de grãos metamíticos (9%), e metamórficos (26%).

A determinação dos graus de alongação evidencia a predominância de grãos colunares curtos (58%) e curtos (38%), enquanto que grãos equidimensionais e colunares longos somam 4% do total (Figura 3.8 B3). A determinação das dimensões dos grãos de zircão permite concluir que estes são os menores dentre os coletados. As amostras 04-KT-02 e DDG-226 apresentam, respectivamente, larguras mínimas e máximas de 40-113 μm e 34-110 μm , e

comprimentos 67-176 μm e 47-215 μm (Figura 3.8 B4).

Para a fácies conglomerática do Segmento Oeste da Formação Piriá foi confeccionado uma pastilha contendo 114 grãos de zircão que em geral são transparentes, porém, com quantidades razoáveis de grãos amarronzados escuros. Em relação as suas formas externas, tem-se proporções de 30% de grãos subédricos, 26% de grãos subarredondados, 22% esferoides, 18% arredondados e apenas 4% de grãos euédricos (Figura 3.8 C1). Quanto a classificação tipológica dos grãos, esquematizada na Figura 3.8

C2 e baseada em imagens de catodoluminescência, nota-se a presença subordinada de grãos metamórficos (26%) e predominância de grãos magmáticos (69%) que somam 77 grãos. Em relação aos graus de alongação há preponderância de grãos curtos (46%) e colunares curtos (41%), porém há proporção considerável de grãos equidimensionais (12%; Figura 3.8 C3). Em análise às dimensões dos grãos tem-se as medidas mínimas e máximas de largura no intervalo de 57-159 μm e para as medidas de comprimento variando em 106-288 μm (Figura 3.8 C4).

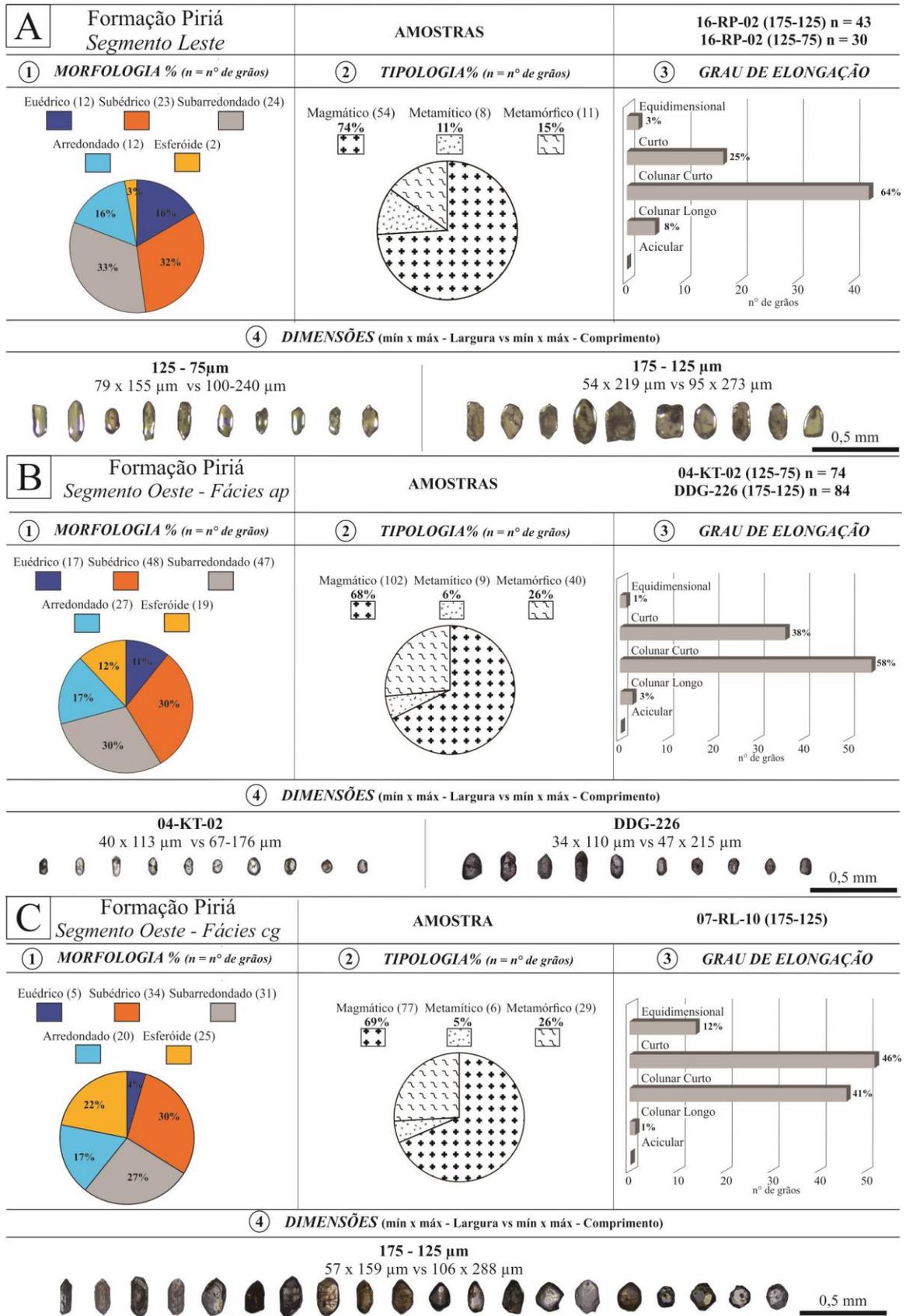


Figura 3.8 – Classificação morfológica e tipológica dos grãos detríticos de zircão referentes a Formação Piriá, baseadas em imagens de estereomicroscópio e CL. A) e B) está relacionado as fácies arcoseanas dos segmentos Leste e Oeste, respectivamente. C) dados de grãos detríticos pertencentes a fácies conglomerática da Formação Piriá. Os quesitos de classificação são vistos em 1) Morfologia; 2) Tipologia; 3) Grau de Elongação e 4) Dimensões dos grãos.

3.4 GEOCROLOGIA U-Pb EM ZIRCÃO DETRÍTICO POR LA-MC-ICP-MS

Esta seção se atém a apresentar os dados geocronológicos obtidos por LA-MC-ICP-MS de 427 grãos detriticos de zircão referentes a Formação Igarapé de Areia e Formação Piriá (Segmento Leste e Segmento Oeste). Dentre estes, tem-se 309 grãos concordantes ou com graus de concordância entre 95% e 105%, os quais foram utilizados para as discussões acerca da investigação da proveniência destes sedimentos.

Os grãos restantes, discordantes, implicam em idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ muito baixas que, portanto, não apresentam significado geológico. Os resultados podem ser consultados conjuntamente com as fotografias dos grãos obtidos em estereomicroscópio presentes no Anexo 1, e com a tabela de dados contendo as razões isotópicas necessárias para o cálculo das idades $\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{206}$, que estão exibidas no Anexo 2.

3.4.1 Formação Igarapé de Areia

Foram realizadas 165 análises em grãos detriticos de zircão distribuídas entre as duas amostras coletadas referentes a Formação Igarapé de Areia cujas imagens de CL dos grãos mais representativos desta unidade podem ser vistas na Figura 3.9. Os zircões concordantes somaram 140 grãos, sendo 54 correspondentes a amostra 16-RP-04, coletada na margem do Rio Gurupi e 82 referentes a amostra 06-KT-03, obtidas em afloramentos *in situ*. Conforme visto nos histogramas de distribuição de idades cumulativas na Figura 3.10 (A e B). Tem-se o grão mais jovem de idade 1940 ± 55 Ma.

A população principal de grãos, tem idades variando de 1940 Ma a 2325 Ma, idades paleoproterozóicas de componentes principalmente riacianos (92%) de idades entre 2052 Ma a 2275 Ma. Os grãos restantes correspondem a períodos iniciais do Orosiriano e finais do Sideriano.

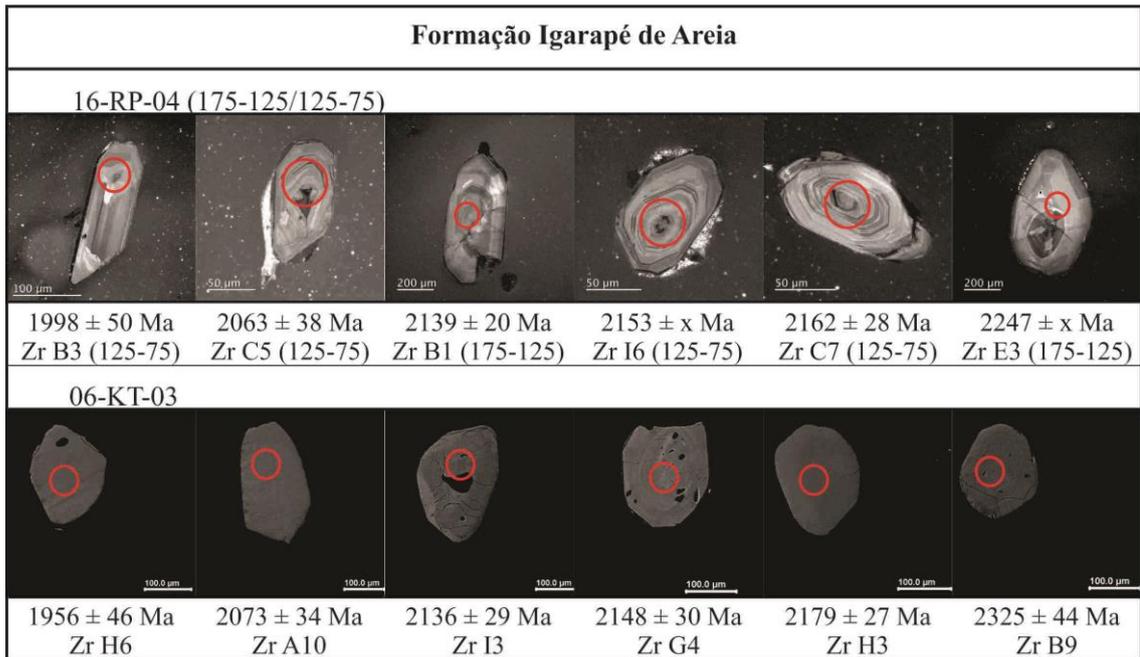


Figura 3.9 – Imagens de CL (16-RP-04) e elétrons retroespalhados (06-KT-03) referentes a grãos detríticos de zircão de diferentes amostras da Formação Igarapé de Areia. O círculo vermelho sinaliza a localização da incidência dos feixes de laser sobre os grãos e abaixo destes as idades obtidas e a nomenclatura dos mesmos.

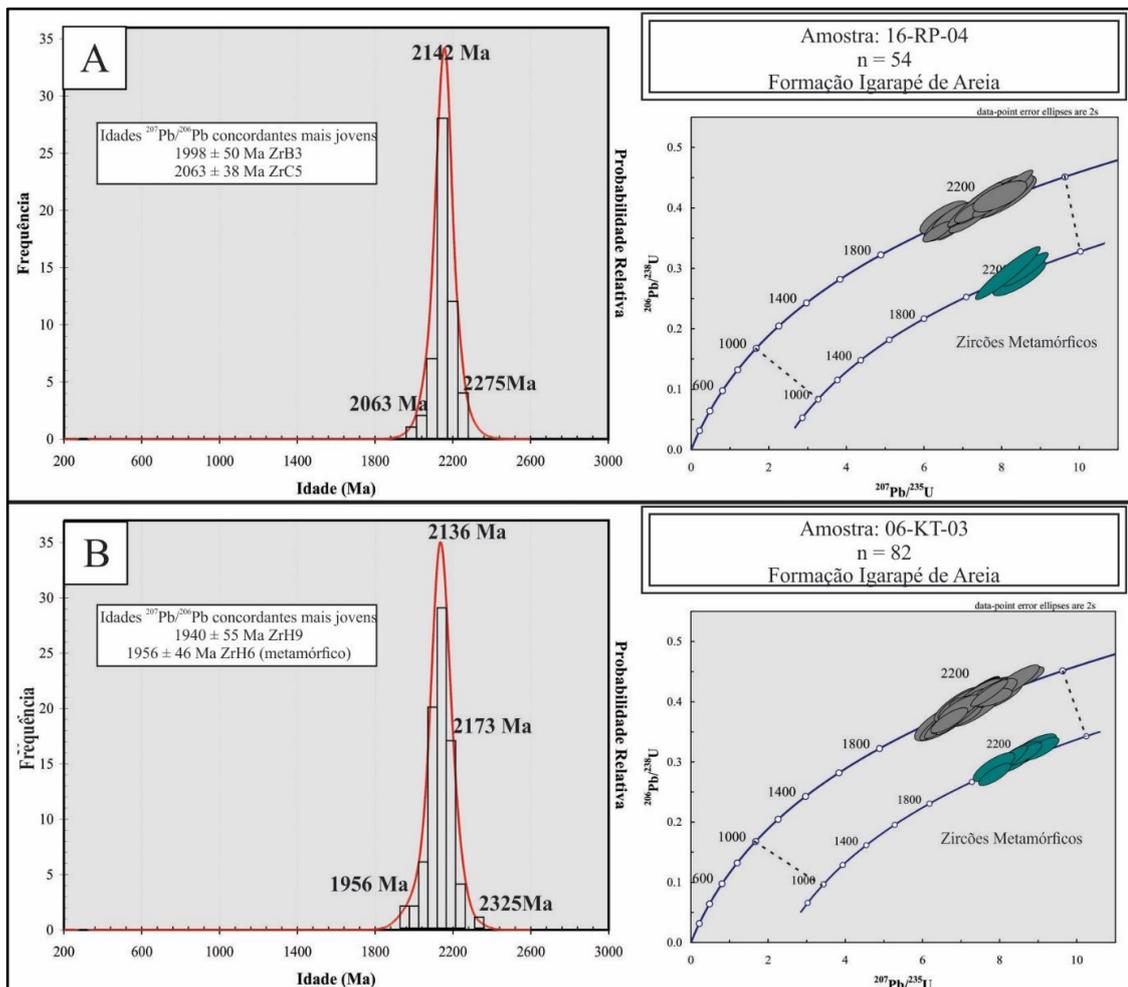


Figura 3.10 – Histogramas de distribuição de idades cumulativas e plotagem de grãos em diagrama concórdia referentes as Formação Igarapé de Areia. Em A amostra 16-RP-04 e em B amostra 06-KT-03, mostrando o pico principal no período Riáciano.

3.4.2 Formação Piriá

Foram analisados 262 grãos detríticos de zircão da Formação Piriá sendo 214 grãos referentes ao Segmento Oeste, divididos em 80 grãos da fácies conglomerática e 134 oriundos dos arcóseos. Além de 48 grãos coletados também em arcóseos finos do Segmento Leste desta unidade. As imagens de catodoluminescência de grãos representativos de suas respectivas populações podem ser vistas na Figura 3.11.

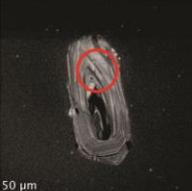
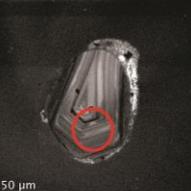
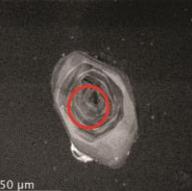
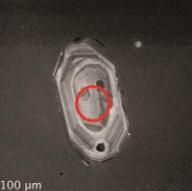
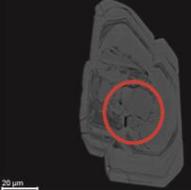
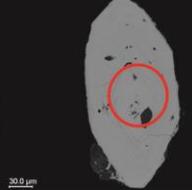
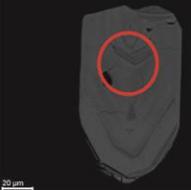
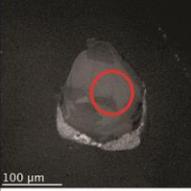
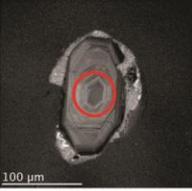
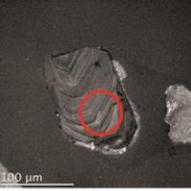
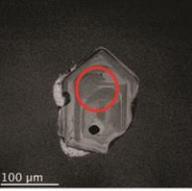
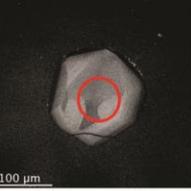
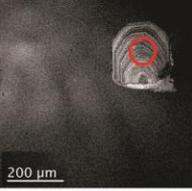
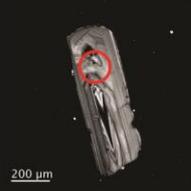
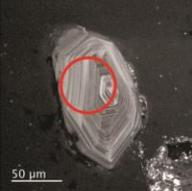
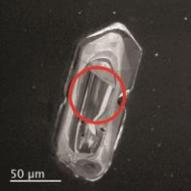
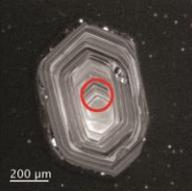
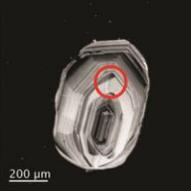
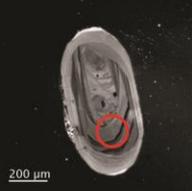
Formação Piriá					
Segmento Oeste 04-KT-02 (Fácies ap)					
					
50 μ m	50 μ m	50 μ m	50 μ m	100 μ m	100 μ m
549 \pm 16 Ma Zr H3	675 \pm 18 Ma Zr C4	1257 \pm 38 Ma Zr I4	1837 \pm 38 Ma Zr H2	2068 \pm 48 Ma Zr A2	2196 \pm 43 Ma Zr A3
DDG-226* (Fácies ap)					
					
20 μ m	20 μ m	20 μ m	30 μ m	20 μ m	30 μ m
910 \pm 30 Ma Zr F5	1355 \pm 37 Ma Zr E6	1797 \pm 31 Ma Zr C9	2090 \pm 26 Ma Zr C1	2157 \pm 21 Ma Zr C6	2754 \pm 24 Ma Zr G1
07-RL-10 (Fácies cg)					
					
100 μ m	100 μ m	100 μ m	100 μ m	100 μ m	200 μ m
1950 \pm 71 Ma Zr G10	2071 \pm 94 Ma Zr E5	2142 \pm 58 Ma Zr G5	2155 \pm 82 Ma Zr J5	2210 \pm 89 Ma Zr L4	2361 \pm 63 Ma Zr D2
Segmento Leste 16-RP-02 (175-125/125-75)					
					
200 μ m	50 μ m	50 μ m	200 μ m	200 μ m	200 μ m
525 \pm 65 Ma Zr G3 (175-125)	588 \pm 35 Ma Zr C4 (125-75)	659 \pm 18 Ma Zr D6 (125-75)	739 \pm 36 Ma Zr A6 (175-125)	824 \pm 18 Ma Zr F6 (175-125)	2169 \pm 58 Ma Zr H4 (175-125)

Figura 3.11 – Imagens de CL e de elétrons retroespalhados (*) de grãos detríticos de zircões referentes a rochas dos diferentes segmentos da Formação Piriá. Os círculos vermelhos indicam os locais de incidência do feixe de laser sobre os grãos e abaixo destes as idades obtidas e a nomenclatura dos mesmos.

Segmento Oeste

Fácies arcóseos intercalados com pelitos laminados

Foram realizadas 134 análises geocronológicas de zircão nesta porção deste segmento, provenientes das amostras 04-KT-02 e DDG-226, cada uma com 69 e 65 grãos, respectivamente. Destes, foram obtidas idades concordantes em 47 e 46 grãos, nesta ordem. Estas amostras apresentam picos similares de idades. A idade mais jovem foi obtida na amostra 04-KT-02 e é de 509 ± 16 Ma (Figura 3.12 A). O histograma de distribuição de idades cumulativas, mostra a presença de grãos detríticos de idades difundidas desde o Mesoarqueano e ao longo de todas as eras do Éon Proterozóico.

O pico principal ocorre no Paleoproterozóico, mais especificamente no Riaciano (2050 Ma a 2266 Ma, 55% dos grãos), porém com considerável contribuição de componentes orosirianos (1797 Ma a 2046 Ma), que perfazem 20% dos grãos analisados. Subordinadamente, ocorrem idades mesoproterozóicas (1243 Ma a 1630 Ma, 10%) e neoproterozóicas (10%) desde o Ediacarano ao Toniano (509 Ma a 951 Ma). Os 5% restantes das análises correspondem a idades isoladas que vão do Meso- ao Neoarqueano (2600 a 2982 Ma). Na amostra DDG-226 (Figura 3.12 B), o grão mais jovem possui idade de 910 ± 30 Ma. A principal diferença em relação a primeira amostra está relacionada a ausência de picos de idade do Neoproterozóico, e de grãos do Mesoarqueano, tendo seu espectro de idades chegando até o Neoarqueano, apenas.

Fácies Conglomerática

A partir das 80 análises realizadas em grãos detríticos de zircão da amostra 07-RL-10, obteve-se 52 grãos com idades com graus de concordância adequados para serem consideradas no histograma de distribuição de idades cumulativas (Figura 3.13). A idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ mais jovem corresponde a um grão de 1950 ± 71 Ma. O pico principal de idades está restrito ao Paleoproterozóico, mais especificamente nos períodos Orosiriano (30%) com idades variando entre 1950 e 2041 Ma, e Riaciano (70%) com idades de 2051 a 2298 Ma.

Segmento Leste

Neste segmento foi coletada a amostra 16-RP-02 da qual foram analisados 47 grãos detríticos de zircão, sendo que 29 forneceram idade concordantes, que foram plotados em digrama de probabilidade cumulativa (Figura 3.14). A idade concordante mais jovem obtida foi

de 525 ± 65 Ma. Dentre as populações de grãos tem-se o pico principal em idades neoproterozóicas variando entre 525 e 824 Ma (72% dos grãos concordantes), sendo predominantemente idades criogenianas e ediacaranas. Subordinadamente ocorrem idades cambrianas e tonianas. Uma população com idades paleoproterozóicas define um pico secundário (17%) e consiste essencialmente de grãos riacianos, com idades variando entre 2013 e 2169 Ma. Ocorrem ainda grãos Arqueanos (2661 a 3092 Ma) que correspondem aos 11% do restante das análises realizadas.

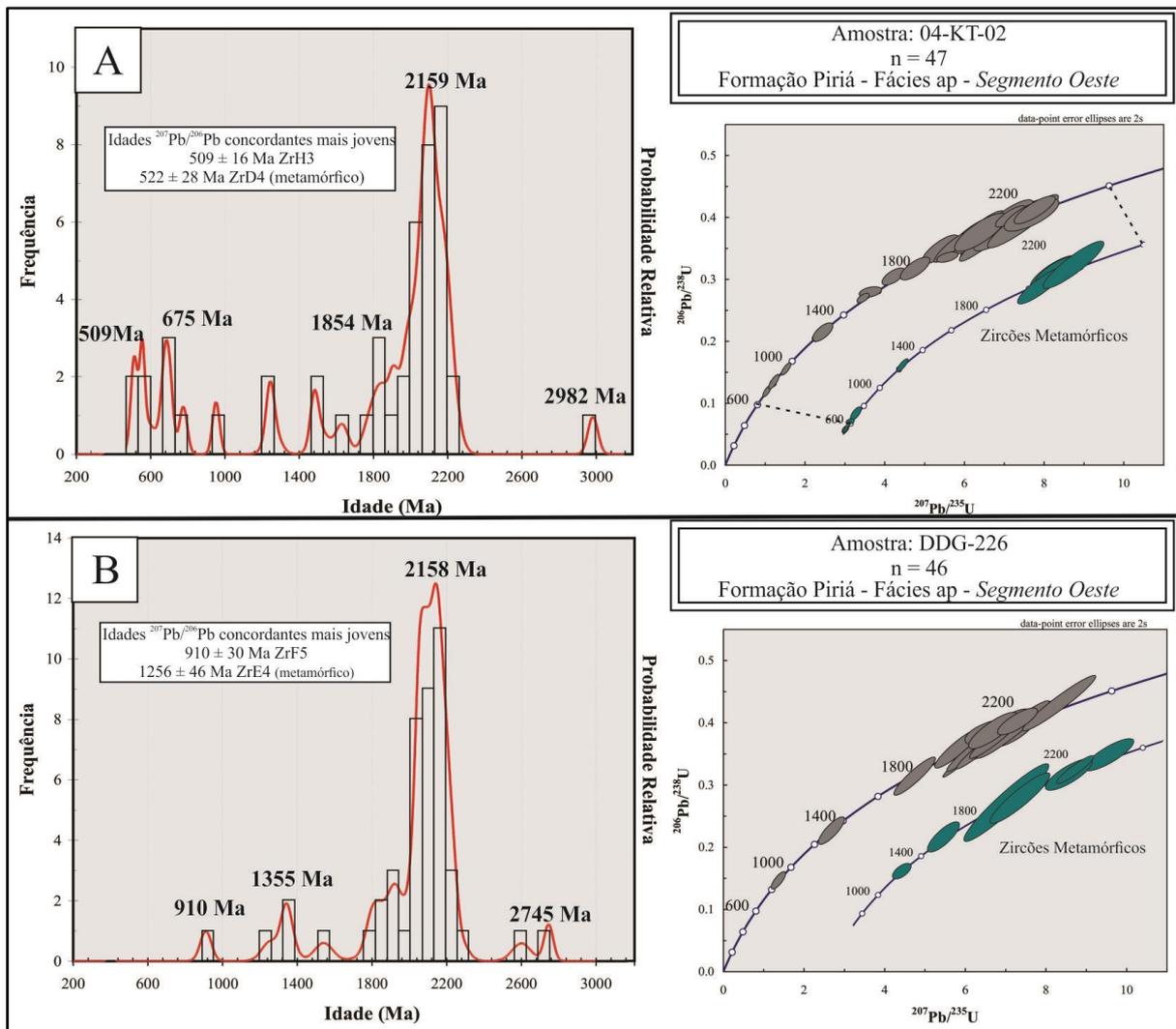


Figura 3.12 – Histogramas de probabilidades de idades cumulativas e plotagem dos grãos em diagrama concórdia para amostras do Segmento Oeste da porção indivisa da Formação Piriá. Sendo A referente a amostra 04-KT-02 e em B a amostra DDG-226.

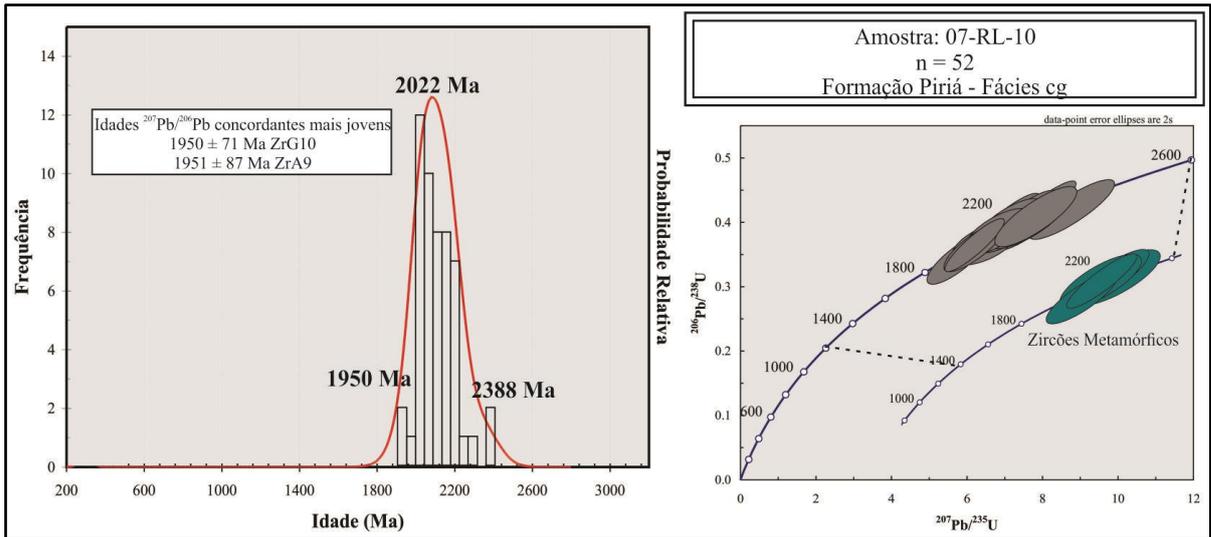


Figura 3.13 – Diagrama de probabilidades cumulativas para a porção conglomerática da Formação Piriá e grãos plotados em diagrama concórdia.

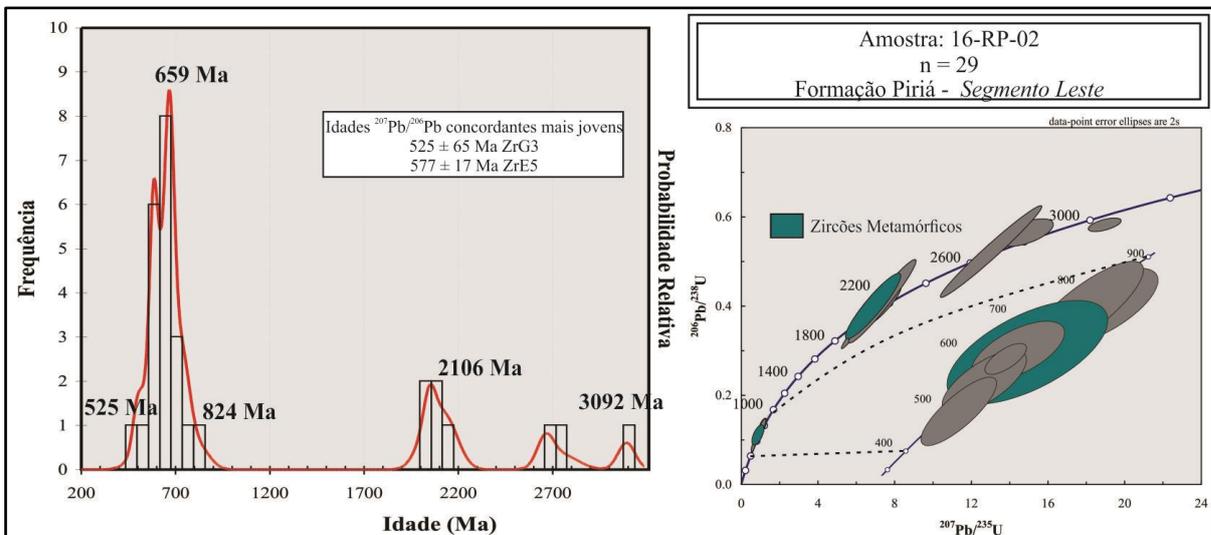


Figura 3.14 – Curva de probabilidade de idades cumulativas referentes ao Segmento Leste da Formação Piriá e grãos plotados em diagrama concórdia.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 DISCUSSÃO

Os dados geocronológicos obtidos para os grãos detríticos de zircão coletados em diferentes amostras das Formações Igarapé de Areia e Piriá estão sintetizados na Figura 4.1, que apresenta o quadro comparativo entre as duas sucessões sedimentares.

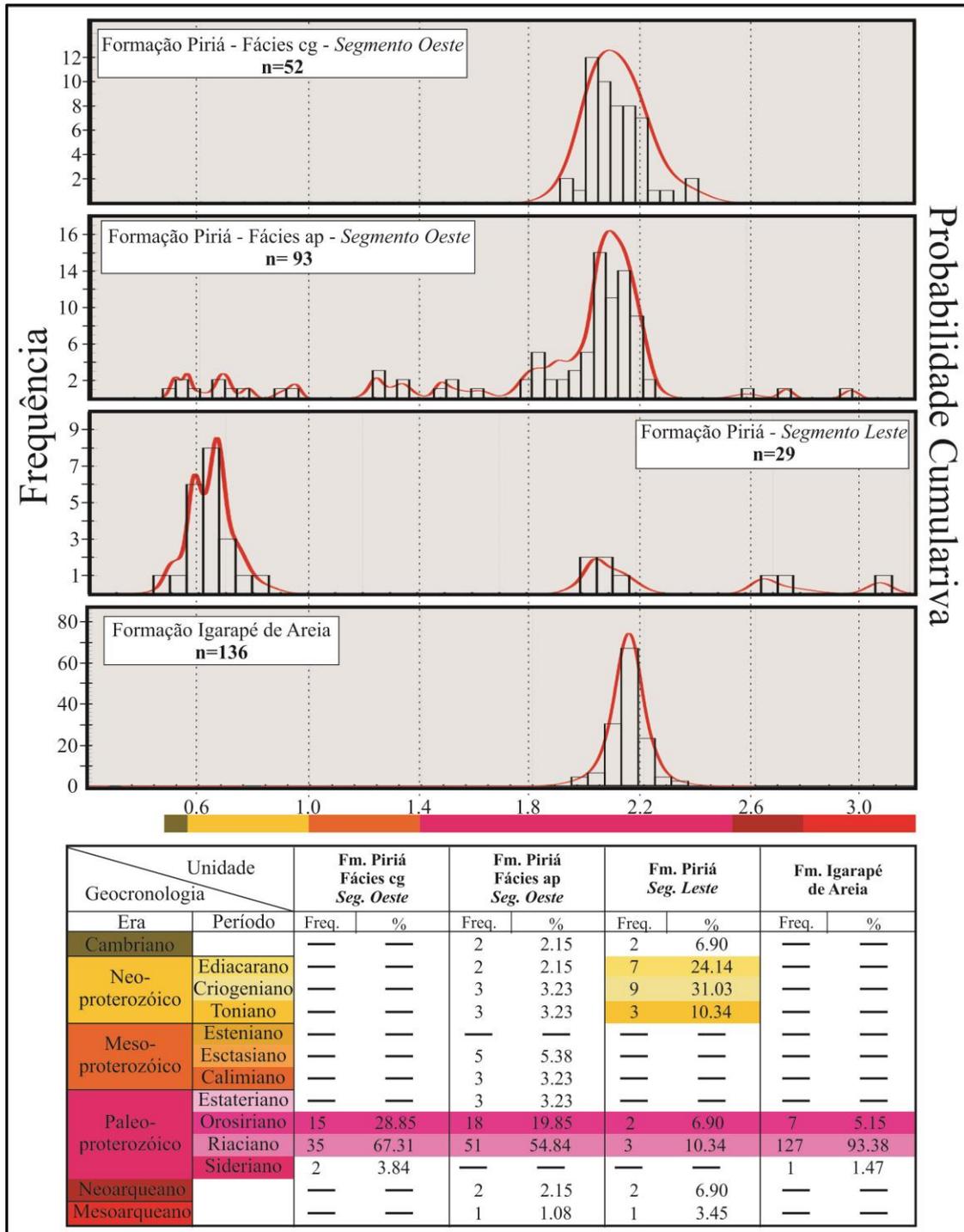


Figura 4.1 – Histogramas de distribuição de idades cumulativas e quadro cronoestratigráfico com a porcentagem de grãos referentes aos diferentes períodos geológicos.

4.1.1 Formação Igarapé de Areia

Investigações da proveniência sedimentar dos arenitos da Formação Igarapé de Areia foram realizadas em estudos anteriores. Teixeira *et al.* (2007) obtiveram idades de 2110 a 2170 Ma em grãos detríticos de zircão, coletados em quartzo arenitos, obtidas pelos métodos U-Pb por LA-MC-ICP-MS e por evaporação de Pb por TIMS. Ademais, concluíram, a partir de dados geoquímicos de elementos maiores, que se tratavam de rochas quartzosas de margem continental passiva. Klein (2015) forneceu para esta formação um intervalo de idades U-Pb em zircão, por LA-MC-ICP-MS, entre 2075 Ma a 2273 Ma. Ele sugeriu para esta unidade uma sedimentação em ambiente de sistema fluvial de alta mobilidade e energia com contribuições de leques aluviais e canais ativos. Este autor ainda propôs três associações faciológicas denominadas arenito grosso intercalado com conglomerados oligomíticos e quartzo arenito sericítico; arenito grosso com intercalação de pelito e metarenito conglomerático oligomítico com estratificação cruzada acanalada.

Neste trabalho, a campanha de amostragem contemplou a ocorrência desta unidade no leito do Rio Gurupi. Ali ocorrem blocos de um arenito de granulação média com estruturas sedimentares marcantes, na forma de estratificações cruzadas acanaladas desenhadas por níveis de minerais opacos, predominantemente magnetita, características da Formação Igarapé de Areia. Tais feições confirmam um ambiente deposicional fluvial de alta energia proposto por Klein (2015). Ao microscópio apresentam quartzos mono- e policristalinos, além de feldspatos alterados para sericita e grãos de plagioclásio com alterações para epidoto, dispostos em matriz fina sericítica contendo muscovita. O zircão ocorre como um mineral acessório. Estas associações mineralógicas permitem, de acordo com Dickinson (1985), caracterizar as fontes destas rochas como oriundas de crátons estáveis em plataformas passivas em concordância com as conclusões divulgadas em Teixeira *et al.* (2007).

Os dados geocronológicos revelaram que o principal pico de idades obtidos em grãos detríticos de zircão ocorre na era Paleoproterozóica, mais especificamente no período Riaciano variando entre 2052 Ma e 2269 Ma. A ocorrência de grãos referentes aos períodos finais do Sideriano e iniciais do Orosiriano é restrita. Os picos de idades são similares aos períodos de orogenia que formaram o Cráton São Luís (CSL; 2050-2240 Ma) (Klein *et al.* 2008a, 2008b e 2009), o que indica a proveniência de fontes proximais.

Esta hipótese é sustentada pela predominância de grãos euédricos e subédricos de zircão em relação a arredondados e esferoides. Além disso, a quantidade majoritária de grãos

de origem magmática infere a principal fonte como sendo rochas ígneas. A eventual contribuição de granitos peraluminosos ou xistos pelíticos é uma hipótese a ser considerada em função da presença de muscovita nos arenitos da Formação Igarapé de Areia.

Considerando a faixa de idade dos grãos detríticos de zircão, as fontes mais prováveis seriam rochas ígneas e metamórficas félsicas do CSL e do Cráton Oeste Africano. Pinheiro *et al.* (2003) sugeriram a correlação da Formação Igarapé de Areia com a Formação Viseu e admitiu a possibilidade dos sedimentos desta última serem provenientes de sequências eburneanas do Cráton Oeste Africano.

4.1.2 Formação Piriá

É considerada como uma bacia hemi-gráben do tipo *rift* limitado por falhas normais e, segundo estes autores, é melhor caracterizada na porção denominada aqui de Segmento Oeste. Os estudos geocronológicos realizados em grãos detríticos de zircão por LA-MC-ICP-MS indicam uma idade máxima de deposição de 591 Ma (Lopes *et al.* 2016).

Para zircões coletados em rochas da fácies arcoeso e grauvasas intercalados com pelitos (ap) do Segmento Oeste da Formação Piriá, os histogramas de distribuição de idades cumulativas para esta fácies deste segmento apontam para uma maior heterogeneidade de fontes. Embora o grão detrítico de zircão mais jovem tenha idade de 509 ± 71 Ma, idades neoproterozóicas são escassas no Segmento Oeste da Formação Piriá. O pico principal de idades está no Riáciano e Orosiriano coincidentes, portanto, às idades de crescimento crustal do CSL e dos terrenos paleoproterozóicos do Cráton Oeste Africano. Além disso, de forma subordinada, ocorrem grãos de zircão detríticos do Arqueano e do início do Mesoproterozóico. Idades similares foram obtidas em Lopes *et al.* (2016) que sugeriram como fonte terrenos adjacentes à região do Gurupi.

Os dados morfológicos dos grãos de zircão suportam esta interpretação, dado que os grãos subédricos e euédricos são aqueles que apresentam idades paleoproterozóicas, indicando menores distâncias percorridas pelos sedimentos a partir de fontes. Por sua vez, os grãos com idades entre 509 e 1797 Ma (cerca de 20% das análises geocronológicas) apresentam-se morfolologicamente mais arredondados, portanto mais distais.

Lopes *et al.* (2016) consideram que os sedimentos das fácies desta formação teriam sido depositados em um sistema fluvial, exceto a fácies conglomerática considerada como depositada em leques aluviais. Amostras macroscópicas desta fácies foram classificadas como

orto- e paraconglomerados oligomíticos, compostos por seixos predominantemente quartzosos com dimensões no intervalo de 0,5 a 6 cm de comprimento, sendo a maioria concentrada entre 1 e 3 cm (Lucas *et al.* 2009).

Estas rochas não apresentam indícios de metamorfismo, porém a presença de seixos compostos predominantemente por quartzo policristalino, sugere proveniência de fontes metamórficas. A ocorrência subordinada de seixos de quartzo monocristalinos, indica contribuição tanto de fontes ígneas como metamórficas. Assim como a presença de muscovita que pode indicar tanto a contribuição de granitos peraluminosos como é sugestiva de contribuição de rochas metamórficas. Por sua vez, a presença de fragmentos líticos de origem metassedimentar presentes nos conglomerados reforça a contribuição de terrenos metamórficos.

Lopes *et al.* (2016) divulgaram idades de 1500 Ma obtidos pela metodologia evaporação de Pb em monocristais de zircão detrítico presentes nestas rochas. Estas idades foram interpretadas como indicativas de possíveis fontes fora do contexto do Cinturão Gurupi e CSL (Província Borborema ou Cráton Amazônico?). Alternativamente, seriam fontes de unidades erodidas ao longo da história geológica da região. Não houve confirmação dessas idades mesoproterozóicas no presente trabalho. A metodologia U-Pb por LA-MC-ICP-MS aplicada em grãos detríticos de zircão da amostra desta fácies conglomerática forneceu, predominantemente, idades riacianas.

Estes dados, portanto, indicam uma maior restrição da fonte dos sedimentos quando comparada à variedade de fontes contribuintes ao aporte sedimentar para os arenitos do Segmento Oeste. A idade mais jovem dentre os grãos analisados é de 1950 ± 71 Ma. A análise do histograma de distribuição de idades cumulativas mostra idades essencialmente paleoproterozóicas (~2100 Ma) para os grãos detríticos de zircão. Tais idades são similares àquelas do crescimento crustal do CSL e dos terrenos paleoproterozóicos do Cráton Oeste Africano.

Com exceção de grãos euédricos que ocorrem de forma subordinada, a análise morfológica indicou que, para esta porção, os grãos detríticos de zircão estão distribuídos de forma heterogênea, quase nas mesmas proporções nas diferentes classificações morfológicas (Figura 3.8). Geocronologicamente, não há dúvidas da contribuição de uma área fonte do Paleoproterozóico, porém a heterogeneidade morfológica dos grãos detríticos pode representar

uma característica da área-fonte, constituída fundamentalmente por rochas metassedimentares as quais eram compostas por sedimentos re trabalhados.

Para o Segmento Leste da Formação Piriá, Lopes *et al.* (2016) apresentaram idades de zircão detrítico, obtidas pelo método evaporação de Pb, em torno de 600 Ma. Este segmento corresponde a uma porção da bacia composta por arcóseos com estratificação plano paralela intercalados com siltitos, que seriam indicativos de sedimentação em ambientes de águas rasas, lacustres ou marinhas (Truckenbrodt *et al.* 2003). Alternativamente, esta associação rochosa representaria sistemas fluviais, como superfícies de inundação ou porções de baixa energia de canais fluviais que é considerado como o ambiente de sedimentação desta bacia de acordo com Lopes *et al.* (2016).

Na seção laminada de uma amostra deste segmento foi identificada uma rocha de composição predominantemente quartzo-feldspática. Segundo Dickinson (1985) rochas com esta composição e em associação com baixos conteúdos de material lítico sugere proveniência de embasamento soerguido por reativação de falhas relacionadas a origem da bacia, ou seja, fonte proximal.

Os grãos de quartzo, em sua maioria monocristalinos, apresentam extinções ondulantes e homogêneas indicativas de proveniências tanto de rochas ígneas quanto metamórficas. A quantidade elevada de feldspatos (38%) é sugestiva de uma rocha mineralogicamente imatura, ou seja, formada por sedimentos pouco transportados, provavelmente em clima árido, permitindo assim a preservação dos feldspatos. Isso poderia indicar a evolução da bacia migrando de sistemas fluviais para estas condições que permitiriam a preservação de feldspatos, como já havia sido proposto em Lopes *et al.* (2016). Além destas considerações mineralógicas, tem-se também a quantidade apreciável de muscovita (~ 6%) o que é indicativa de proveniência de rochas xistosas, gnáissicas e/ou granitos peraluminosos. Adicionalmente, tem-se a presença de minerais acessórios como epidoto (também preservados nestes climas áridos/semi-áridos), apatita, zircão, hornblenda e granada.

O histograma de distribuição de idades cumulativas para o Segmento Leste desta formação mostra que as fontes mais jovens que contribuíram para os sedimentos da bacia definem um pico no intervalo entre 525 e 824 Ma. No entanto, a maior parte dessas idades aponta para contribuição de fontes criogenianas e ediacaranas. Além dessas, de forma subordinada, ocorrem também grão de idades riacianas e orosirianas. Ademais, foram

encontrados grãos de idade arqueana, de origem magmática, provavelmente presentes como grãos herdados presentes nas rochas-fontes neoproterozóicas e/ou paleoproterozóicas.

A morfologia dos grãos detríticos de zircão sugere que as fontes mais jovens estão localizadas mais próximas da bacia do que as fontes mais antigas, porém unidades neoproterozóicas são ausentes no CSL e escassas na presente área de afloramento do Cinturão Gurupi. Assim, uma possível fonte de sedimentos neoproterozóicos pode ser atribuída aos cinturões Pan-Africano que bordejam o Cráton Oeste Africano.

A orogenia Pan-Africana acarretou em um influxo de sedimentos que formou sequências sedimentares denominadas por Nance *et al.* (2008) de terrenos Peri-Gondwana. Estes apresentam picos de idades obtidas em grãos detríticos de zircão entre 1.8-2.2 Ga e 0.55-0.75 Ga (Ennih & Liégeois 2008), similar aos picos de idades encontrados nos dois segmentos da Formação Piriá.

Alternativamente, os equivalentes a este evento orogênico do Neoproterozóico no continente Sul-Americano (Ciclo Brasileiro), gerou atividades vulcânicas e plutonismos colisional e anarogênico que formaram rochas entre 850 e 510 Ma, durante a colagem da Província Borborema (Klein & Moura 2003). A localização paleogeográfica destes dois possíveis terrenos fontes é concordante com os dados de paleocorrentes obtidos por Lopes *et al.* (2016) que mostraram o influxo de sedimentos nas direções preferenciais para noroeste e sudoeste.

4.2 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir de análises geocronológicas e morfológicas de grãos detríticos de zircão, é possível sugerir áreas-fontes de terrenos sedimentares, e ter uma noção da natureza das rochas que forneceram os sedimentos para estas bacias. Com a coleta e confecção de dados apresentados no capítulo anterior, para as Formações Igarapé de Areia e Piriá tem-se as principais conclusões sintetizadas nos itens a seguir:

- (1) As rochas coletadas da Formação Igarapé de Areia, que ocorrem em forma de blocos no leito do rio Gurupi apresentam as características diagnósticas desta unidade dada por estruturas sedimentares marcantes na forma de estratificação cruzada acanalada, desenhada por leitos de minerais opacos, que remete a ambientes deposicionais fluviais de alta energia. A associação mineralógica destas rochas sugere fontes advindas de crátons estáveis em plataformas passivas. As idades de grãos detríticos de zircão desta formação indicam que o aporte sedimentar foi originado sobretudo de fontes de idade riaciana variando entre 2052 e 2269 Ma. Estas idades são concordantes com as idades de cristalização das rochas do CSL, havendo também a possibilidade de contribuição de equivalentes geocronológicos como o terreno eburneano do Cráton Oeste Africano. Além disso, a idade de 1940 ± 55 Ma obtida em grão de zircão, indicaria uma idade de máxima deposição para esta bacia.
- (2) Os grãos detríticos de zircão referentes ao Segmento Oeste da Formação Piriá, apresentam um rol mais amplo de possíveis áreas fontes. Idades neoproterozóicas são escassas para este segmento e o pico principal de idades está localizado no Riaciano e Orosiriano, mesma idade de formação dos componentes crustais do CSL. Apesar de escassos, os grãos neoproterozóicos apresentam características morfológicas indicativas de terem percorrido maiores distâncias, diferentemente dos grãos mais antigos, que indicam ter sido originados em terrenos mais proximais. A idade de 509 ± 17 Ma é considerada como a idade máxima de deposição destes sedimentos.
- (3) Os constituintes mineralógicos das rochas da Fácies Conglomerática, localizada na porção ocidental do Segmento Oeste da Formação Piriá, sugerem proveniência de rochas ígneas e metamórficas. Os dados geocronológicos de grãos detríticos de zircão indicam que esta sucessão sedimentar recebeu aporte de uma área-fonte de idade essencialmente paleoproterozóica.
- (4) A associação de siltitos acamadados intercalados com arenitos no Segmento Leste permite inferir a deposição em ambientes sedimentares de baixa energia.

Petrograficamente há indícios de proveniência de fontes proximais advindos do próprio embasamento da bacia, em geral, rochas ígneas félsicas. Porém, há também indicativos mineralógicos de proveniência de rochas metamórficas. Quanto a geocronologia dos grãos detríticos de zircão, tem-se o pico principal de idades nos períodos Criogeniano e Ediacarano, entre 525 e 824 Ma. A idade de máxima deposição para esta bacia é considerada de 525 ± 17 Ma. Devido à ausência de unidades do Neoproterozóico no CSL e escassez de rochas dessa Era no Cinturão Gurupi, pode-se atribuir a proveniência desses sedimentos aos cinturões Pan-Africanos localizados nas bordas do Cráton Oeste Africano, e/ou de terrenos formados no ciclo Brasiliano.

- (5) A análise dos histogramas de distribuição de idades cumulativas dos segmentos Leste e Oeste da Formação Piriá sugere que, ao longo da evolução da bacia, o aporte sedimentar migrou de áreas fontes paleoproterozóicas, nas porções ocidentais, para áreas fontes neoproterozóicas nas porções orientais da bacia. As diferenças entre os picos de idades nestes dois segmentos, podem indicar a proveniência de diferentes áreas-fontes, sugerindo que estes segmentos representariam sub-bacias, conforme aventado por Lopes *et al.* (2016), ou sucessões sedimentares depositadas em períodos distintos.
- (6) Como recomendações para futuros trabalhos na região, sugere-se a aplicação das metodologias Lu-Hf em zircão e de traços de fissão em zircão e apatita tanto nas rochas das bacias quanto nos componentes ígneos e/ou metamórficos do embasamento. A primeira permitiria, integrando-se com os dados U-Pb, uma análise isotópica acerca da origem dos magmas que cristalizaram os grãos detríticos de zircão, estas análises poderiam contribuir tanto para estudos de proveniência sedimentar quanto de evolução crustal da região (Neto *et al* 2015; Matteini *et al* 2010). Por sua vez, a metodologia de traços de fissão, além de auxiliar nos estudos de proveniência sedimentar, identificando áreas fontes, pode fornecer informações acerca dos eventos termotectônicos que afetaram a região, taxas de resfriamento de rochas, taxas de soerguimento e erosão, e confecção da história térmica das bacias sedimentares quando associadas a outros métodos termocronológicos (Gallagher *et al.* 1998).

REFERÊNCIAS

- Abreu F.A.M., Villas R.N.N., Hasui Y. 1980. Esboço estratigráfico do pré-cambriano da região do Gurupi; Estados do Pará e Maranhão. *In: 31° SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú. Resumos... Camboriú*, v. 2, p. 647-658.
- Allègre C.J. 2008. *Isotope geology*. New York, United States of America by Cambridge University Press, 534 p.
- Almaraz J.S.U. & Cordani U.G. 1969. Delimitação entre as províncias geocronológicas pré-cambrianas ao longo do Rio Gurupi. *In: 23° SBG, Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, Resumo das Conferências e Comunicações...* (Boletim especial, 1).
- Almeida F.F.M., Brito Neves B.B.B., Carneiro C.D.R. 2000. The rigin and evolution of the South American Plataform. *Earth Science Reviews*. **50** (1/2): 77-111
- Almeida F.F.M., Melcher G.C., Cordani U.G., Kawashita K., Vandoros P. 1968. Radiometric age determinations from northern Brazil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*. **17**: 3-14.
- Andersen T. 2005. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: limiting conditions from statistics and numerical simulation. *Geochemical Geology*. **216**: 249- 270.
- Borges M.S., Costa J.B.S., Bemerguy R.L., Costa J.L., Maia R.G.N., Araújo O.J.B. 1994. O quadro litoestrutural da Folha SA.23-V-C (Castanhal). *In: 38° SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú, Boletim de Resumos Expandidos...* v. 2, p. 113-114.
- Brito Neves B.B., Van Schmus W.R., Fetter A. 2001. Noroeste da África – Nordeste do Brasil (Província Borborema), ensaio comparativo e problemas de correlação. *Geologia USP*. **1**: 59-78.
- Chemale Jr.F., Kawashita K., Dussin I.A., Ávila J.N., Justino D., Bertotti A. 2012. U-Pb zircon in situ dating with LA-MC-ICP-MS using a mixed detector configuration. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **84** (2): 275-295.
- Cordani U.G., Melcher G.C., Almeida F.F.M. 1968. Outline of the precambrian geochronology of South America. *Canadian Journal of Earth Sciences*. **5**: 629-632.
- Corfu F., Hanchar J.M., Hoskin P.W.O., Kinny P. 2003. Atlas of zircon textures, *In: Hanchar J.M. & Hoskin P.W.O. Zircon: reviews in mineralogy and geochemistry*. p.469–500. (Mineralogical Society of America, 53).
- Costa J.L. 2000. *Castanhal, Folha SA.23-V-C. Estado do Pará*. Belém, Serviço Geológico do Brasil, CPRM, CD-ROM. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás).

- Dickin A.P (Ed.). 2005. *Radiogenic isotope geology*. Cambridge, Cambridge University Press, 471 p.
- Dickinson W.R. 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa G.G. (Ed.). *Provenance of arenites*. D. Reidel, Dordrecht, p. 333-361.
- Ennih N. & Liégeois J. 2008. The boundaries of the West African, with special reference to the basement of the Moroccan metacratonic Anti-Atlas belt. *Journal of African Earth Sciences*, **55**: 214-214.
- Fedo C.M., Sircombe K.N., Rainbird R.H. 2003. Detrital zircon analysis of the sedimentary record (in Zircon). *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, **53**:277-303.
- Finnigan Neptune – Hardware Manual. Thermo Eletron Corporation. Germany. 2004.
- Gallagher K., Brown R., Johnson C. 1998. Fission track analysis and its applications to geological problems. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **26**: 519-572
- Gartner A., Linnemann U., Sagawe A., Hofmann M., Ullrich B., Kleber A. 2013. Morphology of zircon crystal grains in sediments – characteristics, classifications, definitions. *Journal of Central European Geology*. *Geologia Saxônica*, **59**: 65-73.
- Goldstein J., Newbury D.E., Echlin P., Joy D.C., Lyman C.E. Fiori C., Lifshin E. 1992. Electron-specimen interactions. In: Goldstein J. *et al.* *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: a text for biologist, materials scientist and geologists*. 2nd ed., New York, p. 69-147.
- Hanchar J.M. 2014. Zircon. In: Rink W.J., Thompson J. (Eds.) *Encyclopedia of scientific dating methods*, Netherlands, Springer. p.1-5. doi: 10.1007/978-94-007-6326-5_58-1,
- Harley S.L, Kelly N.M., Möller A. 2007. Zircon behaviour and the thermal histories of mountain chains. *Elements* **3**:25–30.
- Hasui Y., Abreu F.A.M., Villas R.N.N. 1984. Província Parnaíba. In: Almeida F.F.M., Hasui Y. (Coord.). *O Pré-Cambriano no Brasil*. São Paulo, Edgard Blücher. p. 36-45.
- Hurley P.M., Almeida F.F.M., Melcher G.C., Cordani U.G., Rand J.R., Kawashita K., Vadoros P., Pinson W.H., Fairbairn H.W. 1967. Test of continental drift by comparison of radiometric ages. *Science*. **157**: 495-500.
- Kalsbeek F., Frei D., Affaton P. 2008. Constraints on provenance, stratigraphic correlation and structural context of the Volta basin, Ghana, from detrital zircon geochronology: An Amazonian connection? *Sedimentary Geology*, **212**: 86–95.
- Klein E.L. & Lopes E.C.S. 2011. *Geologia e recursos minerais da Folha Centro Novo do Maranhão SA.23-Y-B-I, Estados do Maranhão e do Pará: escala 1:100.000*. Belém, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 1 CD-ROM.

Klein E.L. & Lopes, E.C.S. 2009. Formação igarapé de Areia: Tarkwa no Cinturão Gurupi? *In: 2º SBGq, Simpósio Brasileiro de Metalogenia, Gramado, Anais... Metalogenia*, CD-ROM.

Klein E.L. & Moura C.A.V. 2001. Age constraints on granitoids and metavolcanic rocks of the São Luís craton and Gurupi belt, northern Brazil: implications for lithostratigraphy and geological evolution. *International Geology Review*, **43**:237-253.

Klein E.L. & Moura C.A.V. 2003. Síntese geológica e geocronológica do Cráton São Luís e do Cinturão Gurupi na região do rio Gurupi (NE-Pará / NW-Maranhão). *Geologia USP*. **3**: 97-112.

Klein E.L. & Moura C.A.V. 2008. São Luís craton and Gurupi belt (Brazil): possible links with the West-African craton and surrounding Pan-African belts. In: Pankhurst R. J., Trouw R.A.J., Neves B.B.B., Wit M.J. (Eds.). *West Gondwana: Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic region*. Geological Society, London, Special Publications. **294**: 137-151.

Klein E.L. & Sousa C.S. 2012. *Geologia e recursos minerais do Estado do Maranhão: texto explicativo. Escala 1:750.000*. Sistema de Informações Geográficas – SIG. Programa Geologia do Brasil - PGB. Belém: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 150 p.

Klein E.L. 2004. *Evolução geológica pré-cambriana e aspectos da metalogênese do ouro do Cráton São Luís e do Cinturão Gurupi, NE-Pará / NW-Maranhão, Brasil*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 323 p.

Klein E.L. 2015. *Geologia e recursos minerais da Folha Santa Luzia do Pará, SA.23- V-C-VI*. Estado do Pará. Carta Geológica. Belém, CPRM, escala 1:100.000. 1 CD-ROM. (Programa Geologia do Brasil – PGB).

Klein E.L., Angélica R.S., Harris C., Jourdan F., Babinski, M. 2013. Mafic dykes intrusive into Pre-Cambrian rocks of the São Luís cratonic fragment and Gurupi Belt (Parnaíba Province), north-northeastern Brazil: Geochemistry, Sr-Nd-Pb-O isotopes, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology, and relationships to CAMP magmatism. *Lithos*, **172-173**: 222-242.

Klein E.L., Larizzati J.H., Marinho P.A.C., Rosa-Costa L.T., Luzardo R., Faraco M.T.L. 2008b. *Geologia e recursos minerais da folha Cândido Mendes SA.23-V-D-II, estado do Maranhão: escala 1:100.000*. Belém, Programa Geologia do Brasil – PGB, Serviço Geológico Brasileiro – CPRM. 150 p.

Klein E.L., Luzardo R., Moura C.A.V., Armstrong R. 2008a. Geochemistry and zircon geochronology of Paleoproterozoic granitoids: further evidence on the crustal evolution of the São Luís cratonic fragment. *Precambrian Research*. **165** (3/4): 221-242.

Klein E.L., Luzardo R., Moura C.A.V., Lobato D.C., Brito R.S.C., Armstrong R. 2009. Geochronology, Nd isotopes and reconnaissance geochemistry of volcanic and metavolcanic rocks of the São Luís Craton, northern Brazil: implications for tectonic setting and crustal evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**:129-145.

Klein E.L., Moura C.A.V., Krymsky R.S., Griffin W.L. 2005a. The Gurupi belt in northern Brazil: lithostratigraphy, geochronology, and geodynamic evolution. *Precambrian Research*. **141, n. 3-4**: 83-105.

Klein E.L., Moura C.A.V., Pinheiro, B.L.S. 2005b. Paleoproterozoic crustal evolution of the São Luís Craton, Brazil: evidence from zircon geochronology and Sm–Nd isotopes. *Gondwana Research*. **8**: 177–186.

Klein E.L., Palheta E.M.S., Pinheiro B.S., Moura C.A.V.M., Abreu F.A.M. 2005c. Sistematização da litoestratigrafia do Cráton São Luís e do Cinturão Gurupi. *Revista Brasileira de Geociências*. **35, n. 3**: 415-418

Lesquer A., Beltrão J. F., Abreu F.A.M. 1984 Proterozoic links between northeastern Brazil and West Africa: a plate tectonic model based on gravity data. *Tectonophysics*. **110**: 9-26.

Lopes E.C.S. & Klein E.L. 2014. *Folha Santa Luzia do Pará, SA.23- V-C-VI*. Estado do Pará. Programa Geologia do Brasil – PGB, Carta Geológica. Belém: CPRM, escala 1:100.000. CD-ROM.

Lopes E.C.S., Klein E.L., Moura C.A.V., Lucas F.R.A., Pinheiro B.L.S, Rodrigues J.B., Wagner M. 2016. U-Pb (LA-ICP-MS) of detrital zircon and whole rock Nd and geochemical constraints on the provenance, depositional age and tectonic setting of the metasedimentary Piriá Basin, northern Brazil: implications for the evolution of the Gurupi Belt. *Brazilian Journal of Geology*. **46(Suppl 1)**: 123-144.

Lucas F.R.A., Moura C.A.V., Klein E.L. 2009. Geologia e idade 207Pb/206Pb em zircão detrítico em conglomerados da região do Gurupi, nordeste do Pará. *In: 11° Simpósio De Geologia Da Amazônia, Manaus. Resumos... Manaus*. CD-ROM.

Ludwig K.R. 2003. Isoplot 3.0 A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkley Geochronology Center, *Special Publications* No. 4.

Matteini, M., Dantas, E.L., Pimentel, M.M., Bühn, B. 2010. Combined U-Pb and Lu-Hf isotope analyses by laser ablation MC-ICP-MS: methodology and applications. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. **82(2)**: 479-491

Neto J.M.M., Galarza M.A., Lafon J. 2015. Lu-Hf em zircão por LA-MC-ICP-MS no laboratório Pará-Iso/UFGPA: metodologia e exemplo de aplicação. *In: 14° Simpósio de Geologia da Amazônia, Marabá-PA, Volume ST2*.

Nance R.D., Murphy J.B., Strachan R.A., Keppie J.D., Gutierrez-Allonso G., Fernandez-Suarez J., Quesada C., Linnemann U., Lemos R., Pisarevsky, S.A. 2008. Neoproterozoic–early Palaeozoic tectonostratigraphy and palaeogeography of the peri-Gondwanan terranes: Amazonian v. West African connections. *Geological Society London Special Publications*. **297**: 345 – 383.

NASA. *Shuttle radar topography mission*. (SRTM). 2000. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em 15/09/2016.

Oliveira C.V. 2015. *Geocronologia U-Pb em zircão detrítico aplicada ao estudo de proveniência dos arenitos do Grupo Canindé, borda leste da Bacia do Parnaíba*. Dissertação (mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 101 p.

Palheta E.S., Abreu F.A.M., Moura C.A.V. 2009. Granitóides proterozóicos como marcadores da evolução geotectônica da região nordeste do Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. **39**, n. 4: 647- 657

Palheta E.S.M. 2001. *Evolução geológica da região nordeste do estado do Pará com base em estudos estruturais e isotópicos de granitóides*. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 144p.

Pastana J.M.N. 1995. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás. Turiaçu/Pinheiro, folhas SA.23-V-D/SA.23-Y-B*. Estados do Pará e Maranhão. Brasília, CPRM, 205p.

Pinheiro B.L.S., Moura C.A.V., Klein E.L. 2003. Estudo de proveniência em arenitos das formações Igarapé de Areia e Viseu, nordeste do Pará, com base em datação de monocristais de zircão por evaporação de chumbo. In: 8º Simpósio De Geologia Da Amazônia, Manaus. *Resumos expandidos*, CD-ROM.

Pupin J.P. 1980 Zircon and granite petrology. *Contrib Mineral Petrol.* **73**: 207-220.

Remus, M.V.D., Souza, R.S., Cupertino J.A., De Ros L.F., Dani N., Vignol-Lelarge, M.L. 2008. Proveniência sedimentar: métodos e técnicas analíticas aplicadas. *Revista Brasileira de Geociências*. **38** (2 – suplemento): 166-185

Ribeiro J.W.A. 2002. *O arcabouço estrutural da região de Chega Tudo e Cedral, NW do Maranhão, com base em sensores geofísicos*. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 155p.

Rubatto D. 2017. Zircon: The metamorphic mineral. *Rev Mineral Geochem* **83**:261–295.

Silva L.C. 2006. Geocronologia aplicada ao mapeamento regional, com ênfase na técnica U-Pb SHRIMP e ilustrada com estudos de casos brasileiros. Brasília, CPRM, 150 p. Publicações Especiais do Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: < www.cprm.gov.br > acesso: 07/2016.

Stacey J.S. & Kramers J.D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope by a two-stge. *Earth and Planetary Science Letters*, **26**: 207-212.

Teixeira K.S., Moura C.A.V., Truckenbrodt W., Klein E.L.K., Chemale Jr F. 2007. Petrografia, geoquímica e geocronologia da Formação Igarapé de Areia, NE – Pará. In: 11º Congresso Brasileiro De Geoquímica, Atibaia, *Anais... Atibaia*, CD – ROM.

Tilton G.R. 1960. Volume diffusion as a mechanism for discordant lead ages. *Journal of Geophysicist Research*, **65**: 2933–45.

Torquato J.R. & Cordani U.G. 1981. Brazil-Africa geological links. *Earth Science Reviews*. **17**: 155-176.

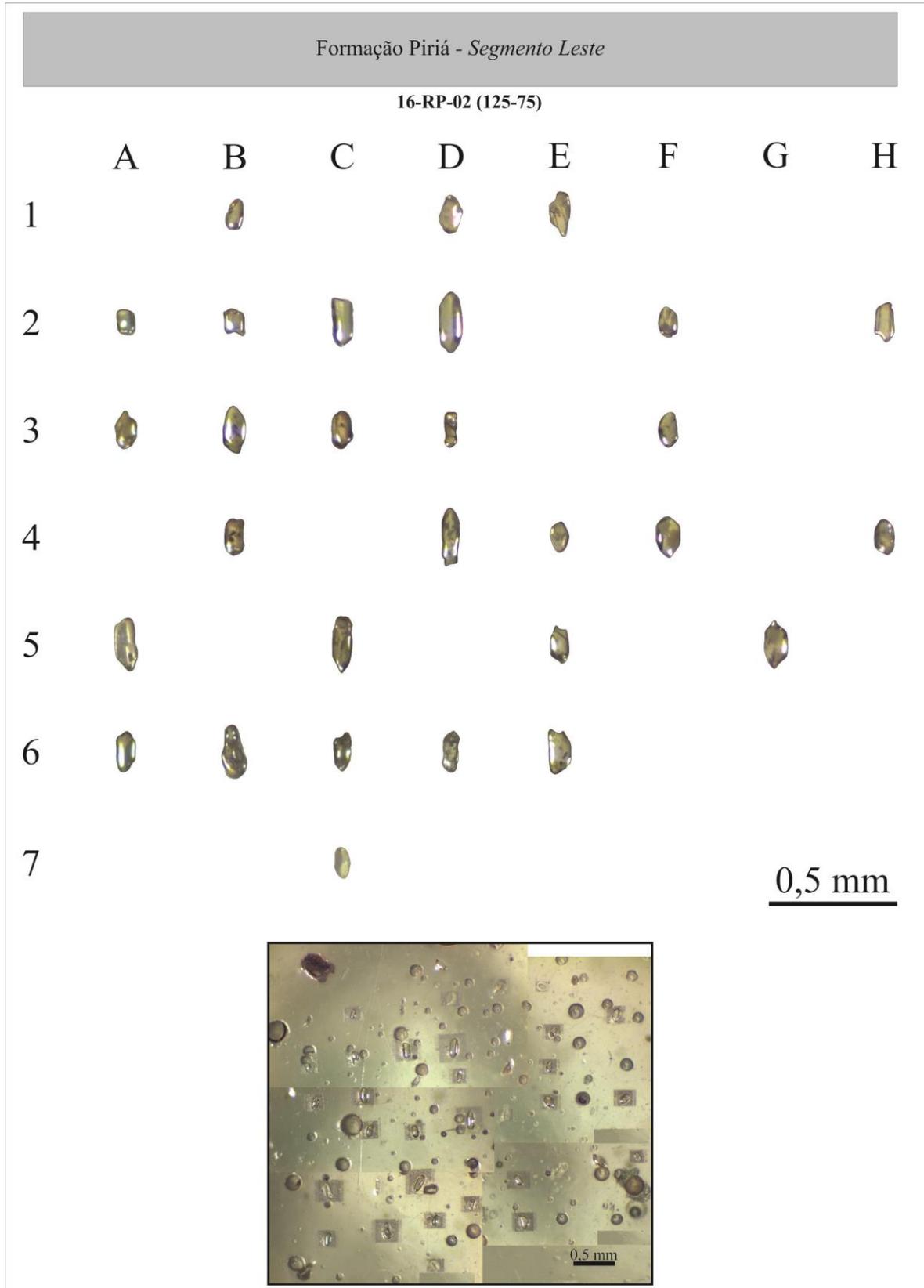
Truckenbrodt W. & Corrêa J.A.M. 1985. Estudo petrológico de arenitos arcoseanos da Formação Piriá, pré-siluriano, região do Gurupi/Pará. *In*: 2º Simpósio De Geologia Da Amazonia, Belém. *Anais... Belém*, v. 2, p.159-173.

Truckenbrodt W., Nascimento M.S., Góes A.M. 2003. Distribuição de minerais pesados em arenitos de formações fanerozóicas no nordeste do Pará e nordeste do Maranhão. *In*: Horbe A.M.C. & Souza V.S. *Contribuições à Geologia da Amazônia*, Belém, SBG -Núcleo Norte, v.4 p.180-189

Vermeesch P. 2004. How many grains are needed for a provenance study? *Earth Planet Sciences*. **224**: 351-441.

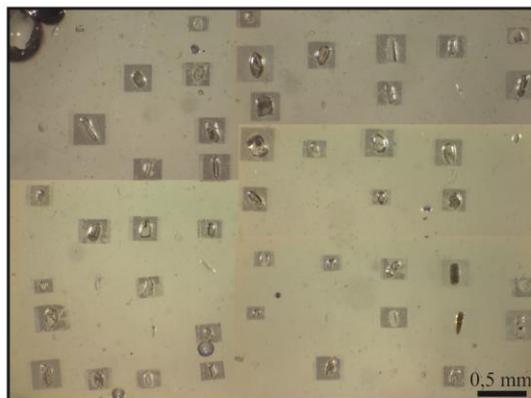
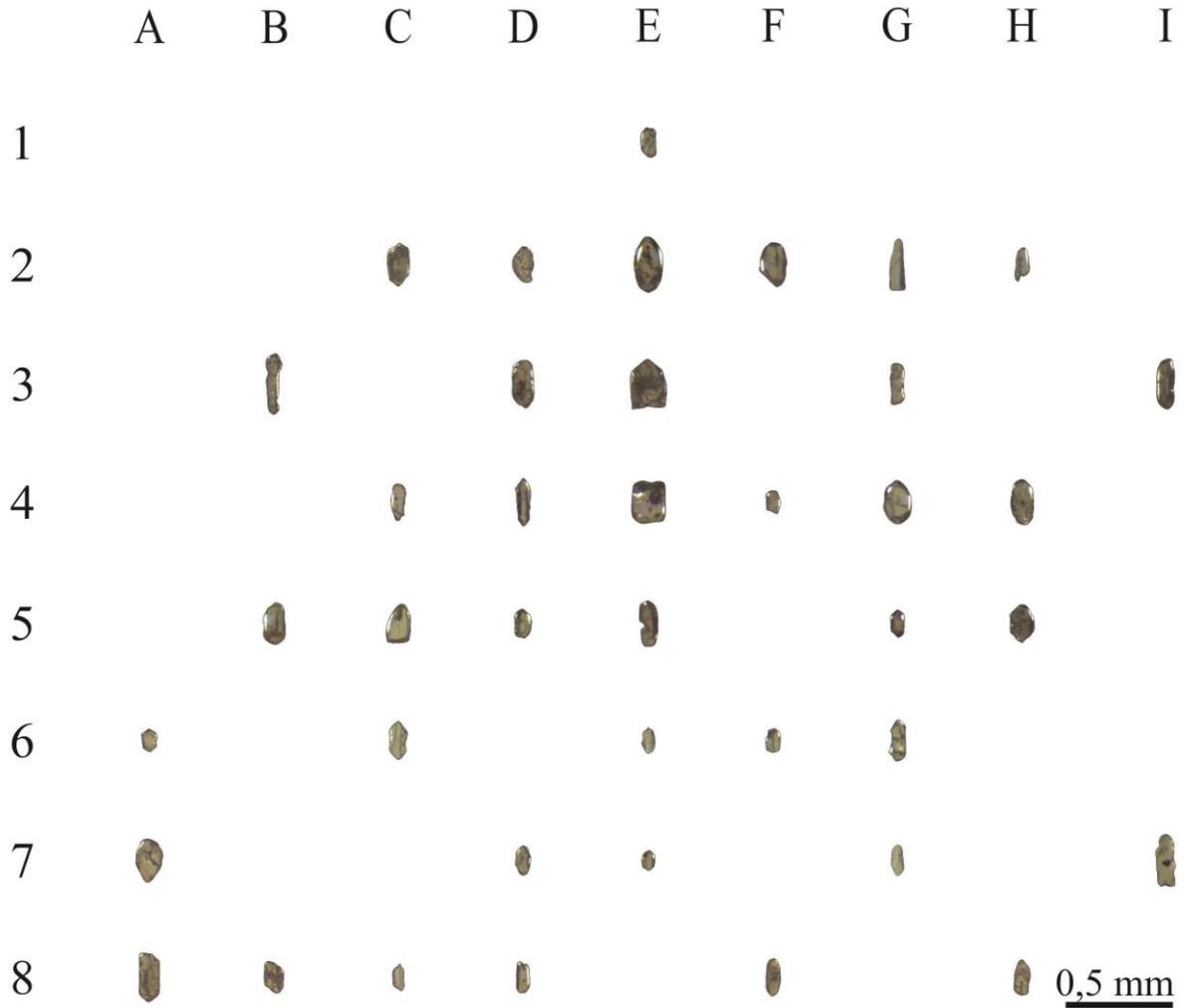
Wertherill G. 1956. Discordant uranium-lead ages I. *American Geophysical Union Transactions*, **37**: 320-326

ANEXOS

ANEXO A - IMAGENS VIA LUPA BINOCULAR E MICROSCÓPIO

Formação Piriá - *Segmento Leste*

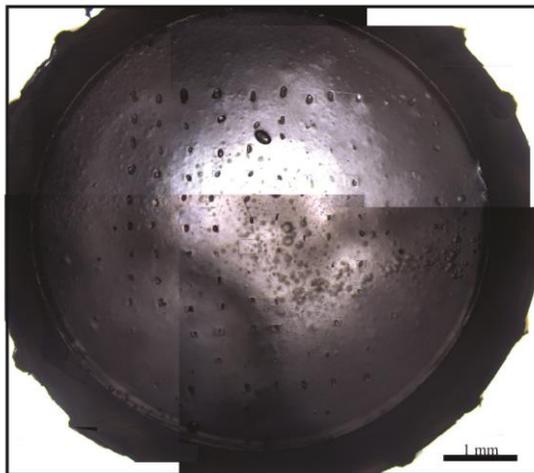
16-RP-02 (175-125)



Formação Piriá - Fácies ap - *Segmento Oeste*

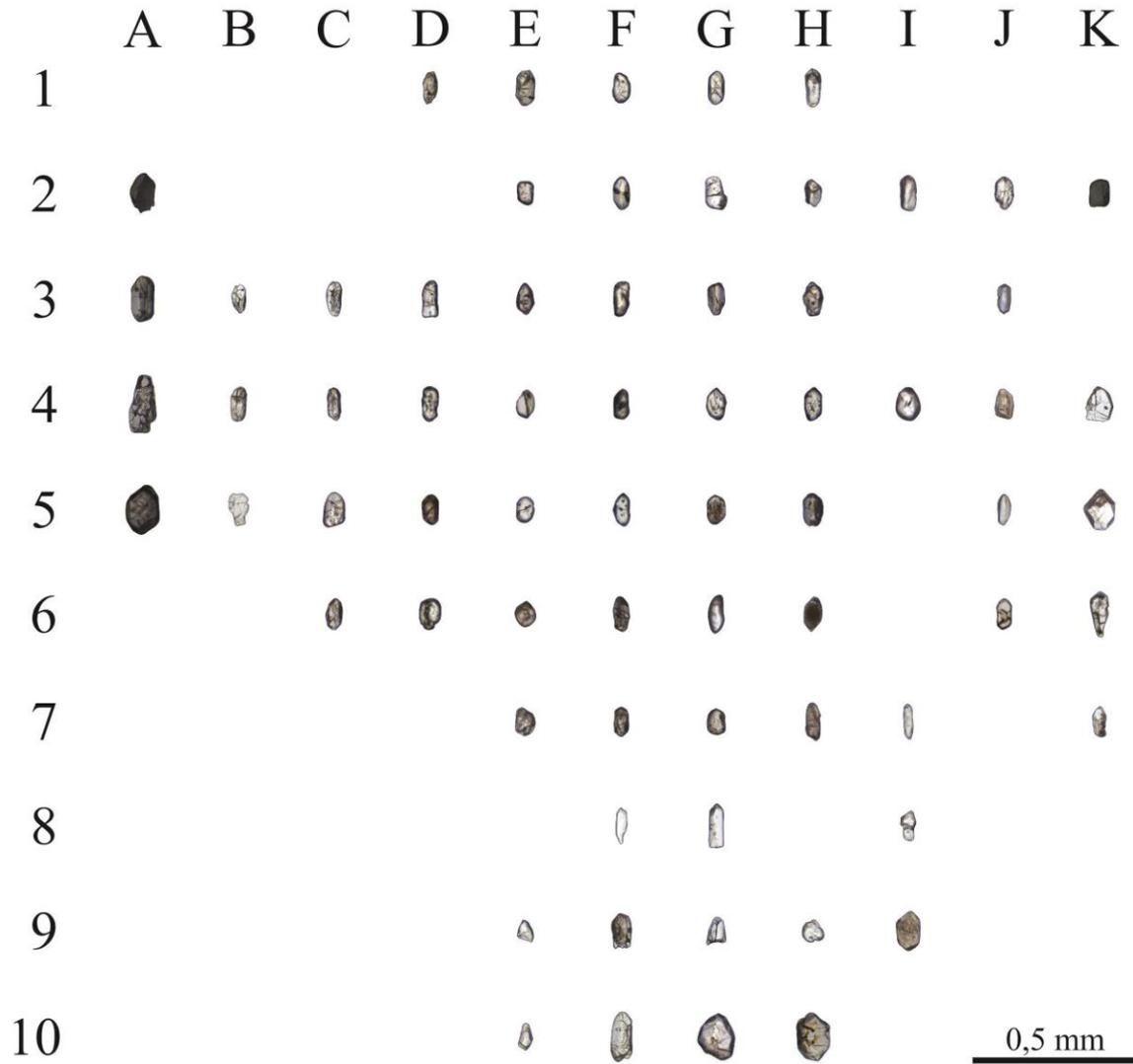
DDG-226

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											

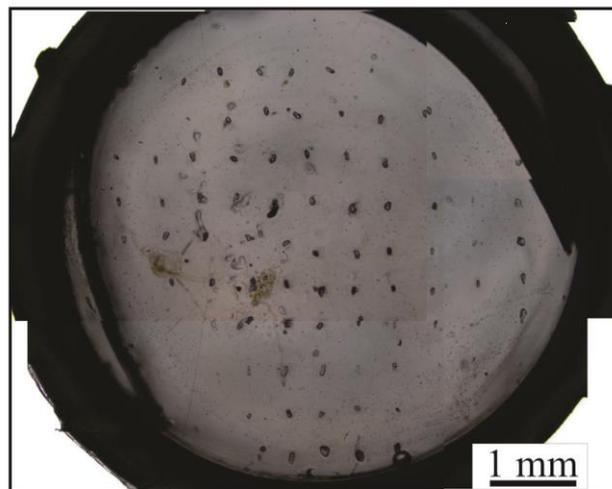
0,5 mm

Formação Piria - Fácies ap - *Segmento Oeste*

04-KT-02



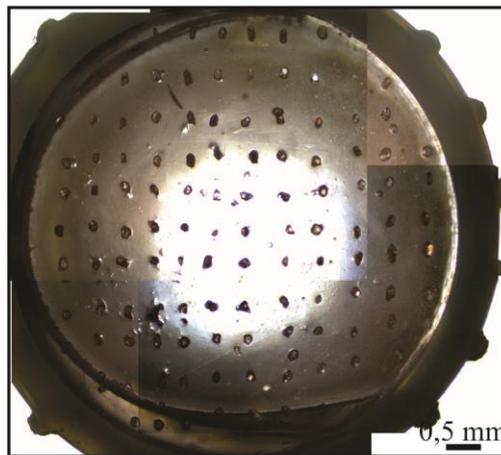
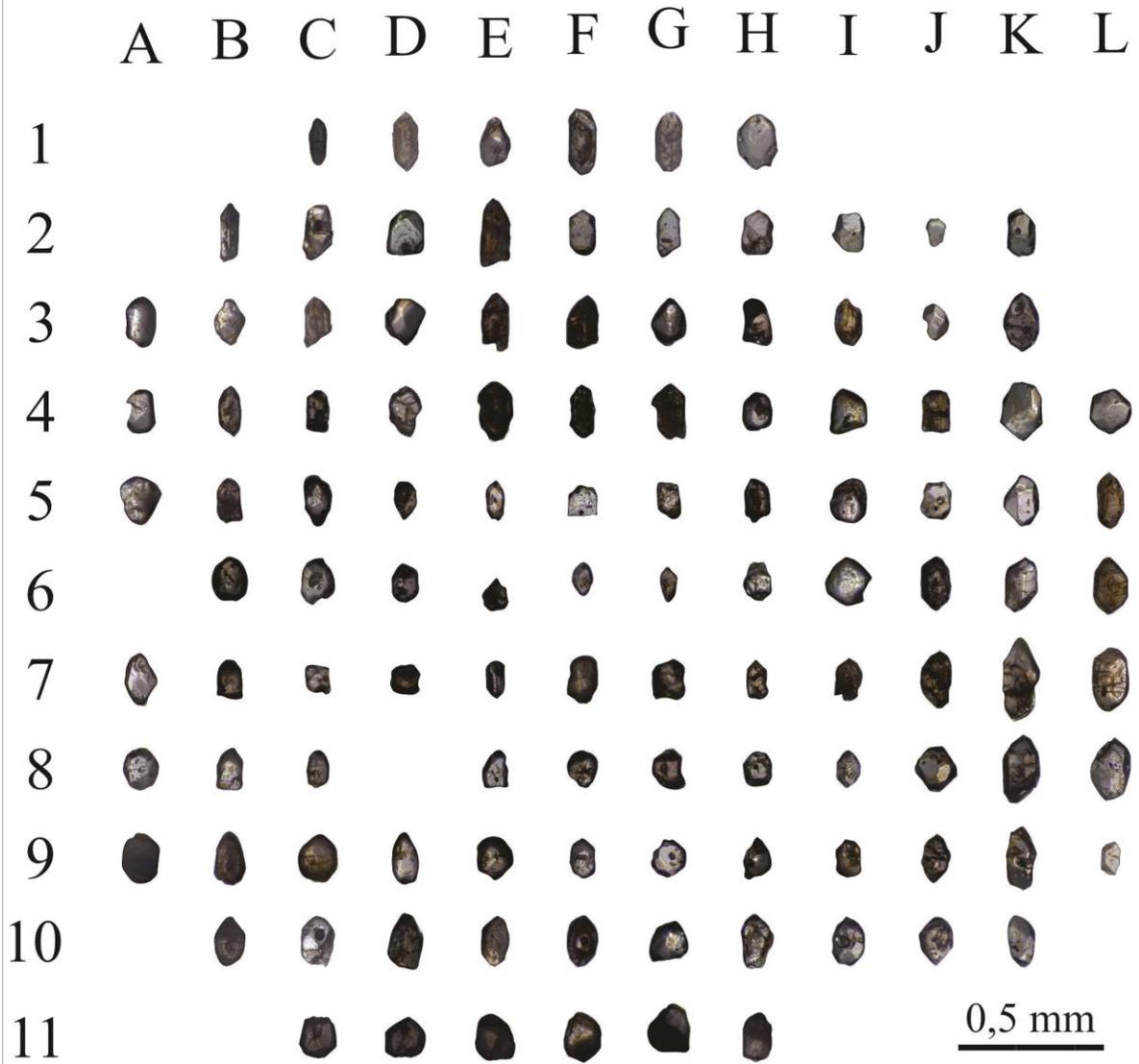
0,5 mm



1 mm

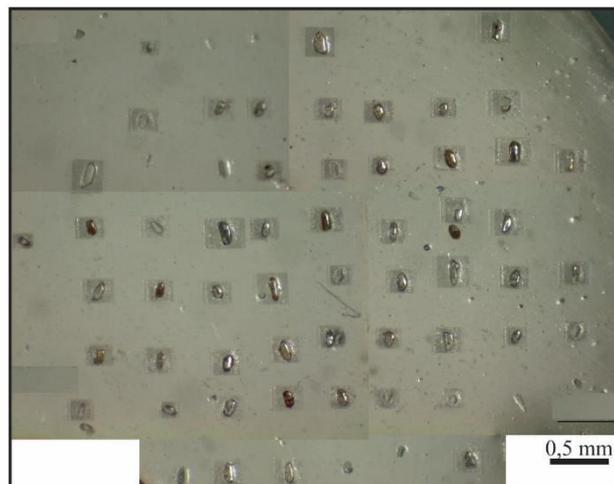
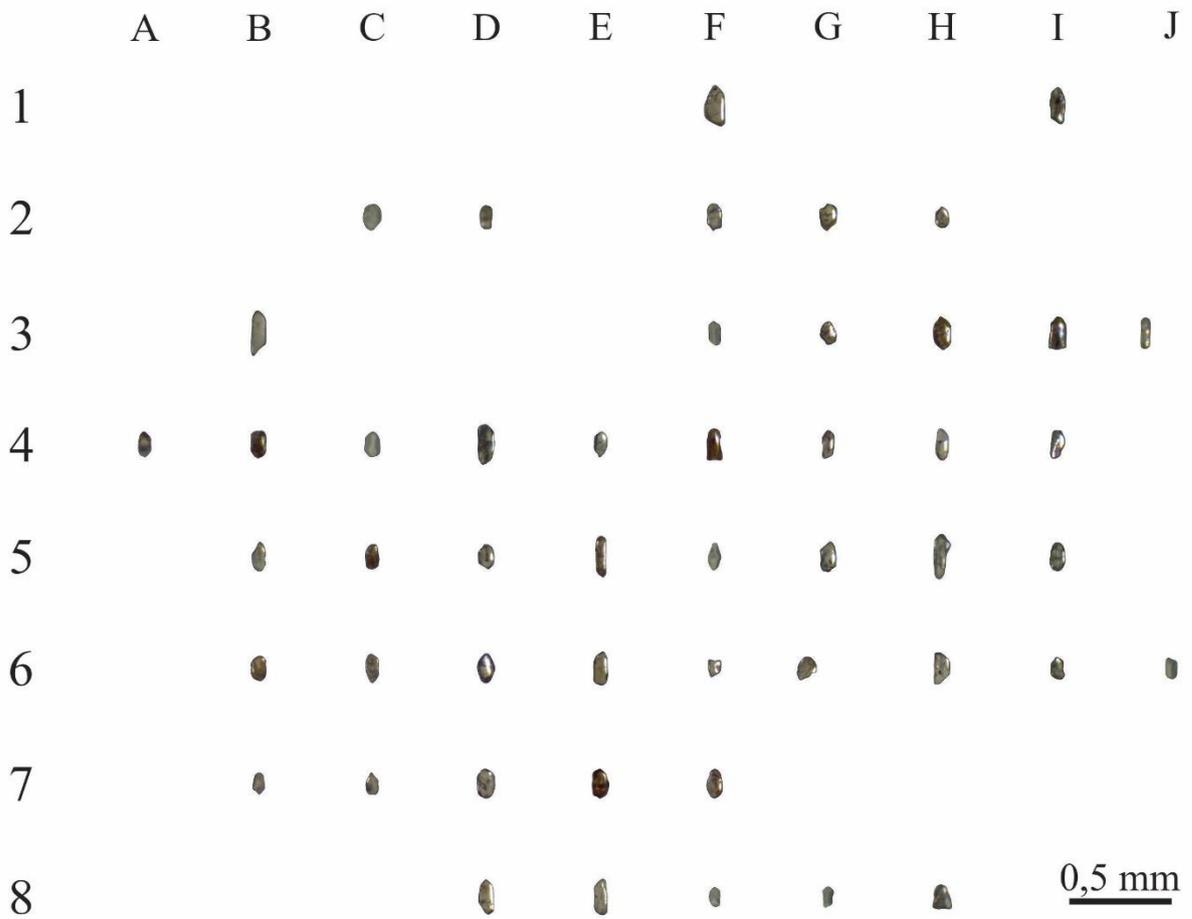
Formação Piriá - Fácies cg - Segmento Oeste

07-RL-10 (175-125)



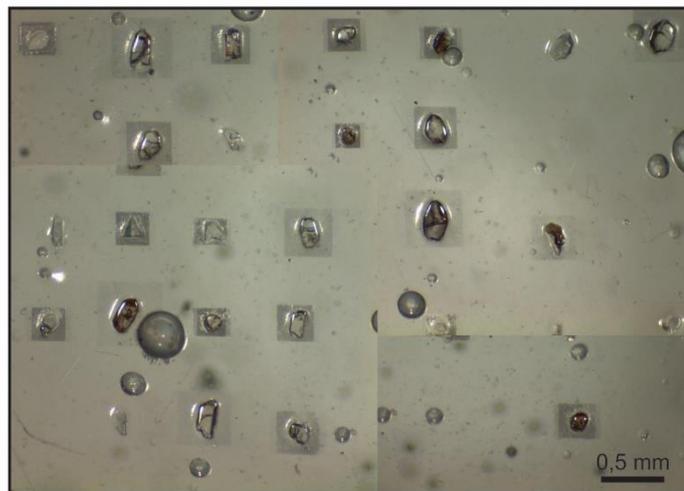
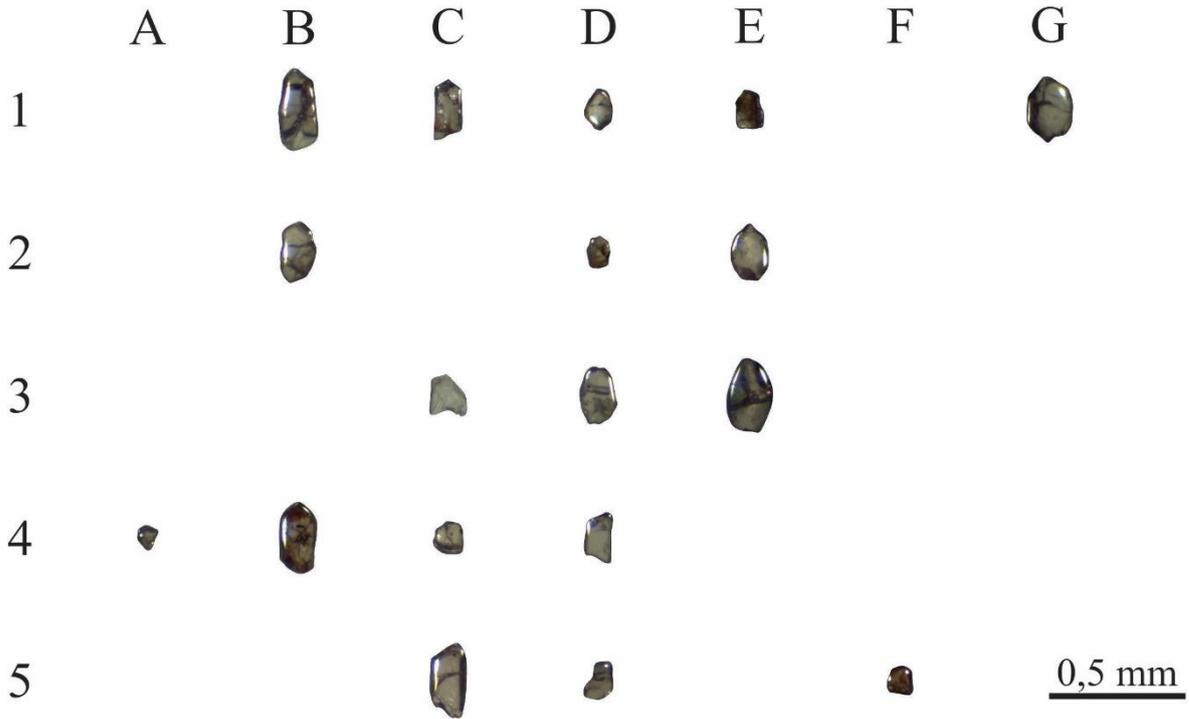
Formação Igarapé de Areia

16-RP-04 (125-75)



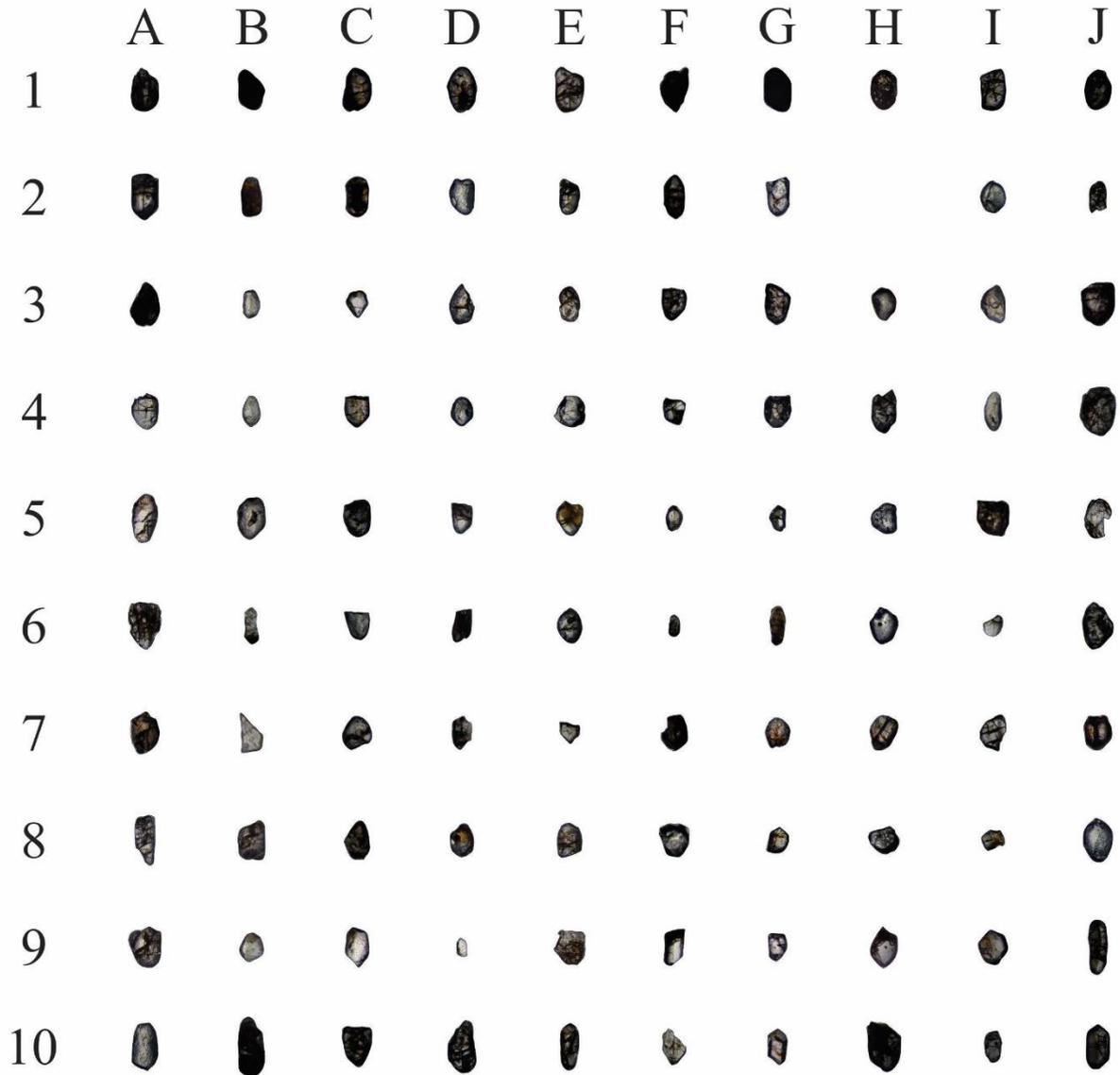
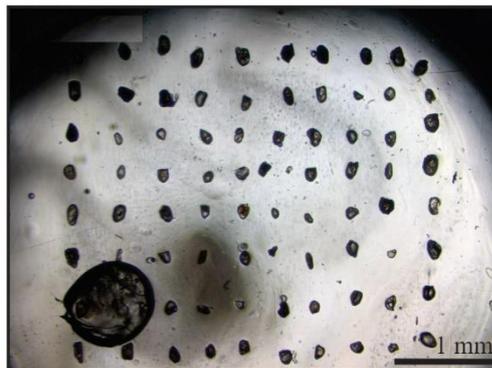
Formação Igarapé de Areia

16-RP-04 (175-125)



Formação Igarapé de Areia

06-KT-03 (175-125)

0,5 mm

ANEXO B - DADOS U-PB DOS ZIRCÕES DETRÍTICOS DAS FORMAÇÕES PIRIÁ E IGARAPÉ DE AREIA OBTIDAS VIA LA-MC-ICP-MS

Continua

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c						Idades (Ma)							
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs	^f Conc % 6/8-7/6
Formação Piriá – Fácies cg – Segmento Oeste (Conglomerado – 07-RL-10)																			
03 07RL10 E1	0,0118	14	35	52	0,68	4,10	7,05	0,23	4,61	0,65	0,13	5,33	1348,6	62,1	1653,8	116,6	2066,7	110,3	65,3
04 07RL10 F1	0,0015	6	6	14	0,41	7,46	4,54	0,39	3,66	0,81	0,14	2,69	2121,4	77,7	2168,7	98,5	2213,7	59,5	95,8
05 07RL10 G1	0,0064	7	13	24	0,52	6,41	6,45	0,36	5,45	0,84	0,13	3,45	2001,1	109,1	2034,2	131,2	2068,0	71,4	96,8
06 07RL10 H1	0,0076	11	37	39	0,95	3,94	6,09	0,23	5,16	0,85	0,13	3,23	1322,8	68,3	1622,8	98,9	2037,2	65,9	64,9
07 07RL10 I1	0,0004	2	2	4	0,59	3,98	12,84	0,28	12,24	0,95	0,10	3,90	1583,8	193,8	1630,2	209,4	1690,5	65,9	93,7
08 07RL10 B2	0,0067	8	6	19	0,30	7,74	5,94	0,41	5,47	0,92	0,14	2,30	2212,9	121,1	2201,8	130,7	2191,5	50,4	101,0
09 07RL10 C2	0,0032	9	10	17	0,56	6,94	4,23	0,39	3,56	0,84	0,13	2,30	2134,3	75,9	2103,9	89,0	2074,3	47,6	102,9
10 07RL10 D2	0,0054	3	3	6	0,41	8,76	5,27	0,42	4,52	0,86	0,15	2,70	2259,2	102,2	2313,3	121,9	2361,4	63,9	95,7
11 07RL10 E2	0,0131	14	39	60	0,66	4,39	13,63	0,27	5,57	0,41	0,12	12,44	1518,4	84,6	1710,5	233,1	1954,4	243,1	77,7
12 07RL10 F2	0,0066	3	2	5	0,43	4,51	11,17	0,32	10,43	0,93	0,10	4,00	1789,5	186,6	1732,1	193,5	1663,4	66,5	107,6
15 07RL10 G2	0,0043	15	21	35	0,61	6,93	3,68	0,38	2,58	0,70	0,13	2,63	2059,5	53,0	2101,9	77,3	2143,7	56,3	96,1
16 07RL10 H2	0,0037	6	8	17	0,47	6,97	3,70	0,38	2,51	0,68	0,13	2,71	2057,2	51,7	2108,0	77,9	2158,0	58,5	95,3
17 07RL10 I2	0,0026	4	4	8	0,53	7,15	5,05	0,39	4,26	0,84	0,13	2,71	2136,4	91,0	2130,3	107,5	2124,3	57,5	100,6
18 07RL10 J2	0,0053	3	4	8	0,54	9,25	9,35	0,44	8,80	0,94	0,15	3,16	2335,0	205,4	2363,5	220,9	2388,3	75,4	97,8
19 07RL10 K2	0,0023	4	6	9	0,69	8,27	6,09	0,42	5,52	0,91	0,14	2,58	2262,4	124,9	2261,4	137,7	2260,4	58,2	100,1
20 07RL10 A3	0,0024	3	3	6	0,54	7,22	10,85	0,40	10,20	0,94	0,13	3,71	2165,7	220,9	2139,4	232,2	2114,3	78,5	102,4
21 07RL10 B3	0,0078	10	15	29	0,51	6,15	3,92	0,36	2,87	0,73	0,13	2,67	1960,5	56,3	1996,7	78,3	2034,4	54,3	96,4
22 07RL10 C3	0,0260	15	27	47	0,58	3,36	12,59	0,20	10,46	0,83	0,12	6,99	1160,0	121,4	1494,4	188,1	2007,3	140,4	57,8
23 07RL10 D3	0,0024	3	3	5	0,53	5,60	15,58	0,36	14,88	0,96	0,11	4,61	1967,1	292,8	1916,4	298,6	1862,1	85,8	105,6

pot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c					Idades (Ma)				^f Conc % 6/8-7/6				
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs
30 07RL10 I3	0,0267	8	8	17	0,44	6,49	14,41	0,36	10,52	0,73	0,13	9,85	1974,2	207,6	2044,9	294,7	2116,9	208,6	93,3
31 07RL10 J3	0,0021	2	3	4	0,72	9,52	13,97	0,44	10,77	0,77	0,16	8,89	2343,2	252,4	2389,8	333,8	2429,8	216,1	96,4
32 07RL10 K3	0,0098	8	38	30	1,26	5,12	7,55	0,29	6,80	0,90	0,13	3,30	1665,7	113,2	1838,9	138,9	2040,9	67,4	81,6
33 07RL10 A4	0,0041	4	4	8	0,52	7,15	6,96	0,40	6,01	0,86	0,13	3,50	2176,0	130,9	2130,7	148,3	2087,4	73,2	104,2
34 07RL10 B4	0,0122	16	15	48	0,32	5,82	3,79	0,33	2,45	0,65	0,13	2,89	1854,1	45,4	1948,8	73,9	2051,0	59,3	90,4
35 07RL10 C4	0,0567	21	189	179	1,06	0,69	12,05	0,05	10,13	0,84	0,10	6,52	303,8	30,8	533,7	64,3	1695,6	110,5	17,9
36 07RL10 D4	0,0031	5	10	10	0,98	7,88	8,01	0,41	6,93	0,87	0,14	4,01	2224,6	154,2	2217,2	177,5	2210,3	88,6	100,6
39 07RL10 E4	0,0132	19	39	73	0,54	5,99	7,35	0,35	6,60	0,90	0,12	3,23	1930,1	127,3	1975,0	145,1	2022,5	65,4	95,4
40 07RL10 F4	0,0554	24	114	229	0,50	1,21	4,83	0,08	3,88	0,80	0,11	2,88	480,0	18,6	806,5	39,0	1861,0	53,6	25,8
41 07RL10 G4	0,0258	21	44	71	0,62	4,47	5,12	0,26	4,48	0,87	0,12	2,48	1511,8	67,7	1726,2	88,4	1997,0	49,6	75,7
42 07RL10 H4	0,0026	10	12	21	0,59	7,08	4,12	0,39	3,19	0,77	0,13	2,61	2122,9	67,8	2121,2	87,4	2119,6	55,2	100,2
43 07RL10 I4	0,0074	2	2	4	0,50	3,60	26,49	0,30	26,09	0,98	0,09	4,63	1668,4	435,2	1550,4	410,8	1393,2	64,5	119,8
44 07RL10 J4	0,0103	8	15	22	0,69	7,15	6,18	0,38	4,91	0,79	0,13	3,75	2096,2	103,0	2129,9	131,7	2162,7	81,2	96,9
45 07RL10 K4	0,0042	3	2	6	0,41	6,27	10,74	0,37	10,04	0,94	0,12	3,80	2016,0	202,4	2014,8	216,3	2013,5	76,6	100,1
46 07RL10 L4	0,0041	4	4	9	0,51	7,89	7,08	0,41	5,46	0,77	0,14	4,51	2227,9	121,6	2218,8	157,1	2210,5	99,8	100,8
47 07RL10 A5	0,0048	4	4	7	0,51	6,54	8,37	0,38	6,87	0,82	0,12	4,78	2094,3	143,8	2051,6	171,7	2009,1	96,1	104,2
48 07RL10 B5	0,0249	21	195	169	1,16	3,85	13,96	0,23	12,51	0,90	0,12	6,20	1315,3	164,6	1602,9	223,8	2004,7	124,2	65,6
51 07RL10 C5	0,0031	9	8	17	0,45	6,96	5,57	0,40	4,96	0,89	0,13	2,53	2154,5	106,9	2106,7	117,3	2060,4	52,2	104,6
52 07RL10 D5	0,0059	6	8	17	0,50	5,73	5,64	0,34	4,62	0,82	0,12	3,25	1892,5	87,4	1935,9	109,3	1982,6	64,4	95,5
53 07RL10 E5	0,0108	8	10	20	0,49	6,52	5,83	0,37	3,62	0,62	0,13	4,56	2026,7	73,4	2049,1	119,4	2071,7	94,6	97,8
54 07RL10 F5	0,0064	4	4	7	0,58	6,68	6,29	0,38	5,38	0,86	0,13	3,26	2083,2	112,2	2070,6	130,3	2058,2	67,0	101,2
55 07RL10 G5	0,0033	7	6	16	0,38	7,54	4,81	0,41	3,96	0,82	0,13	2,73	2215,3	87,6	2177,5	104,7	2142,1	58,5	103,4
56 07RL10 H5	0,0053	12	18	29	0,63	5,96	3,64	0,35	2,11	0,58	0,12	2,97	1923,6	40,5	1969,8	71,7	2018,7	59,9	95,3
57 07RL10 I5	0,0049	4	4	8	0,54	6,54	6,58	0,38	4,31	0,65	0,12	4,98	2090,6	90,0	2051,6	135,1	2012,6	100,2	103,9

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c					Idades (Ma)					^f Conc % 6/8-7/6			
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs
58 07RL10 J5	0,0042	5	6	8	0,69	7,30	6,48	0,39	5,23	0,81	0,13	3,83	2142,0	112,1	2148,7	139,3	2155,2	82,6	99,4
59 07RL10 K5	0,0046	5	6	9	0,70	7,71	7,28	0,42	5,68	0,78	0,13	4,54	2247,0	127,7	2197,8	159,9	2152,2	97,8	104,4
60 07RL10 L5	0,0146	13	24	39	0,61	4,69	4,38	0,28	3,54	0,81	0,12	2,58	1581,3	56,0	1765,6	77,4	1991,2	51,4	79,4
63 07RL10 B6	0,0186	10	15	26	0,58	5,25	5,15	0,32	2,89	0,56	0,12	4,26	1782,2	51,5	1860,7	95,8	1949,5	83,0	91,4
64 07RL10 C6	0,0066	4	5	7	0,71	6,85	7,32	0,39	5,53	0,76	0,13	4,79	2143,1	118,6	2091,7	153,1	2041,5	97,8	105,0
65 07RL10 D6	0,0054	7	7	15	0,44	7,07	6,08	0,38	4,45	0,73	0,14	4,13	2070,5	92,2	2120,3	128,8	2169,0	89,6	95,5
66 07RL10 E6	0,0042	11	16	20	0,81	7,68	6,55	0,41	5,56	0,85	0,14	3,46	2225,9	123,8	2194,0	143,7	2164,4	74,8	102,8
67 07RL10 F6	0,0137	12	25	39	0,64	6,42	5,17	0,36	3,14	0,61	0,13	4,11	1983,9	62,3	2035,3	105,3	2087,7	85,8	95,0
68 07RL10 G6	0,0042	9	12	18	0,67	7,11	5,32	0,39	3,94	0,74	0,13	3,58	2119,3	83,4	2125,9	113,1	2132,3	76,3	99,4
69 07RL10 H6	0,0048	4	4	9	0,49	7,57	5,70	0,40	4,31	0,76	0,14	3,74	2171,3	93,6	2181,8	124,5	2191,7	81,9	99,1
70 07RL10 I6	0,0047	5	7	8	0,82	7,42	7,07	0,41	5,38	0,76	0,13	4,58	2202,6	118,4	2163,0	152,8	2125,6	97,4	103,6
71 07RL10 L6	0,0025	10	9	24	0,38	7,10	5,09	0,40	3,82	0,75	0,13	3,36	2166,1	82,7	2124,4	108,1	2084,2	70,1	103,9
72 07RL10 K6	0,0055	5	10	11	0,88	6,79	6,72	0,37	5,58	0,83	0,13	3,75	2036,3	113,5	2084,0	140,0	2131,4	79,9	95,5
75 07RL10 J6	0,0654	119	387	715	0,54	2,06	5,21	0,11	4,42	0,85	0,13	2,76	681,5	30,1	1136,1	59,2	2151,9	59,4	31,7
76 07RL10 A9	0,0046	4	4	7	0,51	6,11	7,94	0,37	6,54	0,82	0,12	4,50	2031,5	133,0	1991,9	158,2	1951,0	87,8	104,1
77 07RL10 B9	0,0425	17	74	87	0,85	1,99	5,17	0,12	3,89	0,75	0,12	3,41	747,6	29,1	1111,6	57,5	1915,2	65,3	39,0
78 07RL10 C9	0,0057	3	3	6	0,51	5,96	7,38	0,38	5,77	0,78	0,11	4,60	2058,7	118,9	1970,2	145,5	1878,6	86,4	109,6
79 07RL10 D9	0,0038	3	2	5	0,47	8,89	7,83	0,44	6,59	0,84	0,15	4,23	2358,7	155,4	2326,3	182,2	2298,1	97,3	102,6
80 07RL10 J8	0,0074	3	3	5	0,58	6,13	8,93	0,40	7,05	0,79	0,11	5,48	2179,0	153,6	1994,3	178,0	1807,9	99,0	120,5
81 07RL10 K8	0,0049	5	5	12	0,46	6,79	5,35	0,39	3,80	0,71	0,13	3,77	2100,8	79,8	2084,8	111,6	2069,0	78,0	101,5
82 07RL10 K7	0,0062	6	5	14	0,39	6,47	7,39	0,38	6,37	0,86	0,12	3,75	2063,9	131,5	2041,5	150,9	2019,0	75,8	102,2
83 07RL10 L7	0,0081	6	9	16	0,55	6,09	6,68	0,34	5,15	0,77	0,13	4,26	1889,4	97,3	1989,1	132,9	2094,3	89,2	90,2
84 07RL10 B10	0,0197	4	12	14	0,87	4,53	9,78	0,25	8,78	0,90	0,13	4,32	1430,8	125,6	1736,0	169,9	2126,5	91,9	67,3
87 07RL10 C10	0,0103	2	2	4	0,66	6,71	8,14	0,48	6,31	0,77	0,10	5,14	2509,5	158,2	2074,6	168,8	1666,8	85,7	150,6

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c					Idades (Ma)					^f Conc % 6/8-7/6			
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs
88 07RL10 D10	0,0282	4	21	22	0,93	1,89	16,45	0,13	14,88	0,90	0,11	7,01	760,5	113,2	1076,6	177,1	1788,1	125,3	42,5
89 07RL10 E10	0,0049	9	8	19	0,43	7,60	4,66	0,40	3,96	0,85	0,14	2,46	2178,9	86,2	2185,1	101,8	2190,9	53,9	99,5
90 07RL10 F10	0,0423	7	11	10	1,14	6,18	5,28	0,36	4,29	0,81	0,12	3,07	1983,3	85,1	2001,1	105,6	2019,6	62,0	98,2
91 07RL10 G10	0,0047	3	2	5	0,39	6,08	7,08	0,37	6,04	0,85	0,12	3,68	2022,0	122,2	1987,0	140,6	1950,8	71,8	103,7
92 07RL10 H10	0,0055	9	12	19	0,62	6,19	5,17	0,36	4,65	0,90	0,12	2,25	2000,1	93,0	2003,4	103,5	2006,8	45,1	99,7
93 07RL10 C11	0,0024	5	6	10	0,66	7,42	6,09	0,41	5,47	0,90	0,13	2,68	2195,0	120,1	2164,0	131,8	2134,7	57,2	102,8
94 07RL10 D11	0,0026	4	3	8	0,36	7,81	5,69	0,41	4,70	0,83	0,14	3,22	2207,3	103,7	2208,9	125,8	2210,4	71,1	99,9
95 07RL10 E11	0,0039	3	4	6	0,65	6,58	7,86	0,38	7,26	0,92	0,12	3,01	2095,7	152,2	2056,2	161,6	2016,8	60,6	103,9
96 07RL10 F11	0,0130	7	10	18	0,52	6,32	6,12	0,36	5,31	0,87	0,13	3,04	1990,7	105,7	2020,9	123,6	2051,9	62,3	97,0
Formação Piriá – Fácies ap – Segmento Oeste (04-KT-02)																			
03 4KT02 E1	0,0013	10	6	20	0,29	6,92	4,04	0,40	3,35	0,83	0,13	2,26	2148,6	71,9	2100,8	84,8	2054,3	46,4	104,6
04 4KT02 F1	0,0012	11	15	21	0,74	7,12	3,14	0,40	2,66	0,85	0,13	1,67	2167,6	57,6	2126,1	66,8	2086,3	34,9	103,9
05 4KT02 G1	0,0003	12	24	29	0,82	6,45	3,45	0,36	3,13	0,91	0,13	1,46	1993,1	62,3	2039,3	70,4	2086,5	30,5	95,5
06 4KT02 H1	0,0054	6	33	38	0,86	0,88	6,21	0,11	4,45	0,72	0,06	4,33	675,0	30,0	639,4	39,7	515,5	22,3	130,9
07 4KT02 A2	0,0022	3	2	6	0,37	7,02	3,73	0,40	2,92	0,78	0,13	2,32	2161,7	63,0	2114,0	78,8	2068,0	48,1	104,5
08 4KT02 E2	0,0043	9	11	26	0,45	4,21	2,78	0,30	1,83	0,66	0,10	2,09	1712,1	31,3	1675,8	46,6	1630,6	34,1	105,0
09 4KT02 F2	0,0047	6	8	9	0,85	6,35	4,49	0,37	3,47	0,77	0,12	2,84	2041,2	70,9	2025,8	90,9	2010,3	57,1	101,5
10 4KT02 G2	0,0033	6	6	13	0,44	6,60	4,34	0,39	3,81	0,88	0,12	2,07	2100,6	80,1	2059,9	89,4	2019,3	41,8	104,0
11 4KT02 H2	0,0020	10	26	22	1,19	5,39	3,43	0,35	2,71	0,79	0,11	2,11	1925,7	52,1	1883,5	64,6	1837,2	38,7	104,8
12 4KT02 I2	0,0023	10	12	32	0,36	2,84	3,74	0,24	2,59	0,69	0,08	2,70	1412,0	36,6	1367,3	51,1	1298,0	35,0	108,8
15 4KT02 J2	0,0068	0	1	1	1,02	13,80	94,01	2,14	82,05	0,87	0,05	45,89	7379,1	6054,4	2735,9	2571,9	35,3	16,2	20876,3
16 4KT02 L2	0,0048	4	5	7	0,68	7,63	3,41	0,41	2,86	0,84	0,13	1,85	2231,8	63,8	2188,1	74,6	2147,4	39,7	103,9
17 4KT02 A3	0,0027	8	17	19	0,92	7,56	3,70	0,40	3,13	0,85	0,14	1,97	2163,1	67,8	2180,5	80,7	2196,9	43,2	98,5
18 4KT02 B3	0,0036	5	5	9	0,57	6,93	5,38	0,40	4,84	0,90	0,13	2,34	2148,5	104,0	2102,4	113,0	2057,6	48,1	104,4

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c						Idades (Ma)							
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs	^f Conc % 6/8-7/6
19 4KT02 C3	0,0082	3	53	54	0,98	0,67	6,87	0,09	2,16	0,31	0,06	6,52	539,8	11,7	518,1	35,6	423,5	27,6	127,4
20 4KT02 D3	0,0035	12	34	33	1,04	3,63	3,18	0,28	1,27	0,40	0,09	2,91	1586,9	20,2	1556,3	49,5	1515,0	44,1	104,7
21 4KT02 E3	0,0017	12	38	33	1,15	7,07	7,75	0,38	7,38	0,95	0,13	2,36	2097,9	154,9	2120,0	164,4	2141,5	50,5	98,0
22 4KT02 F3	0,0045	4	30	18	1,65	0,99	6,66	0,12	4,65	0,70	0,06	4,76	706,8	32,9	699,0	46,5	673,9	32,1	104,9
23 4KT02 G3	0,0030	7	7	15	0,48	7,27	4,46	0,39	3,90	0,87	0,13	2,16	2130,6	83,2	2145,1	95,7	2159,0	46,7	98,7
24 4KT02 H3	0,0044	8	41	80	0,52	0,68	6,73	0,09	5,92	0,88	0,06	3,20	528,8	31,3	525,1	35,3	509,1	16,3	103,9
27 4KT02 I3	0,0045	7	14	18	0,80	4,76	3,25	0,32	2,35	0,72	0,11	2,24	1775,9	41,8	1777,3	57,8	1778,8	39,8	99,8
29 4KT02 A4	0,0033	4	9	9	1,01	6,58	4,40	0,37	4,13	0,94	0,13	1,52	2010,9	83,0	2056,2	90,5	2101,8	32,0	95,7
30 4KT02 B4	0,0033	11	67	52	1,28	1,51	3,29	0,16	2,59	0,79	0,07	2,03	929,3	24,0	936,0	30,8	951,8	19,4	97,6
31 4KT02 C4	0,0042	6	37	47	0,80	0,92	6,19	0,11	5,58	0,90	0,06	2,67	660,7	36,9	664,1	41,1	675,5	18,0	97,8
32 4KT02 D4	0,0083	5	35	54	0,66	0,67	6,45	0,08	3,63	0,56	0,06	5,33	523,4	19,0	523,2	33,7	522,4	27,8	100,2
33 4KT02 E4	0,0064	1	6	8	0,73	0,49	26,54	0,10	22,56	0,85	0,04	13,97	610,0	137,6	405,6	107,6	-640,3	-89,5	-95,3
34 4KT02 F4	0,0202	8	65	66	0,99	0,82	6,43	0,10	2,26	0,35	0,06	6,02	614,9	13,9	608,7	39,1	585,4	35,2	105,0
35 4KT02 G4	0,0099	3	38	20	1,97	0,72	5,76	0,09	5,24	0,91	0,06	2,39	551,3	28,9	552,0	31,8	554,8	13,3	99,4
36 4KT02 H4	0,0077	3	12	29	0,43	0,83	12,79	0,12	6,68	0,52	0,05	10,91	714,1	47,7	611,7	78,2	248,6	27,1	287,2
41 4KT02 I4	0,0047	3	4	15	0,29	2,44	4,18	0,21	2,83	0,68	0,08	3,08	1252,1	35,4	1253,9	52,5	1257,1	38,8	99,6
42 4KT02 J4	0,0026	16	18	68	0,27	4,93	8,96	0,32	8,39	0,94	0,11	3,15	1767,3	148,2	1807,7	161,9	1854,6	58,3	95,3
43 4KT02 L4	0,0063	3	8	8	1,08	7,60	13,13	0,42	12,82	0,98	0,13	2,83	2238,0	286,9	2185,2	286,8	2135,9	60,4	104,8
44 4KT02 A5	0,0039	5	7	10	0,72	7,07	4,86	0,39	4,24	0,87	0,13	2,37	2102,4	89,2	2120,4	103,0	2138,0	50,7	98,3
45 4KT02 B5	0,0071	1	5	6	0,81	2,60	3,00	0,16	2,17	0,72	0,12	2,07	950,3	20,6	1301,8	39,1	1939,9	40,2	49,0
46 4KT02 C5	0,0041	2	3	5	0,52	3,63	5,85	0,29	3,95	0,67	0,09	4,32	1617,0	63,8	1555,7	91,0	1473,3	63,6	109,8
47 4KT02 D5	0,0072	20	19	58	0,34	5,66	3,04	0,35	2,77	0,91	0,12	1,26	1940,9	53,8	1924,8	58,6	1907,5	24,0	101,8
48 4KT02 E5	0,0049	5	9	23	0,37	2,39	2,99	0,21	2,48	0,83	0,08	1,67	1236,2	30,6	1238,7	37,0	1243,1	20,8	99,4
49 4KT02 F5	0,0044	2	7	11	0,68	1,09	11,02	0,14	7,67	0,70	0,06	7,91	833,9	64,0	750,1	82,7	507,6	40,1	164,3

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c						Idades (Ma)						^f Conc % 6/8-7/6	
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		1 s abs
50 4KT02 G5	0,0222	23	157	129	1,23	1,76	4,75	0,12	3,75	0,79	0,11	2,92	720,5	27,0	1032,7	49,1	1770,1	51,6	40,7
53 4KT02 H5	0,0046	5	8	10	0,83	6,43	3,51	0,38	3,10	0,88	0,12	1,64	2084,0	64,6	2036,8	71,4	1989,3	32,6	104,8
54 4KT02 I5	0,0043	1	7	6	1,17	1,04	4,12	0,12	3,20	0,78	0,06	2,59	728,3	23,3	721,9	29,7	702,3	18,2	103,7
55 4KT02 J5	0,0040	7	5	12	0,41	7,80	4,89	0,42	4,60	0,94	0,13	1,66	2261,4	104,0	2207,8	108,0	2158,5	35,9	104,8
56 4KT02 L5	0,0023	9	11	22	0,52	7,25	2,70	0,40	2,46	0,91	0,13	1,11	2179,3	53,7	2142,3	57,9	2107,0	23,4	103,4
58 4KT02 C6	0,0024	8	51	37	1,41	6,30	5,78	0,36	5,61	0,97	0,13	1,38	1973,3	110,7	2018,0	116,6	2064,1	28,6	95,6
59 4KT02 D6	0,0016	11	24	22	1,13	5,54	5,83	0,35	5,29	0,91	0,11	2,44	1947,3	103,0	1906,8	111,1	1862,9	45,5	104,5
60 4KT02 E6	0,0019	15	15	45	0,34	5,90	1,69	0,30	1,16	0,69	0,14	1,23	1690,8	19,6	1961,4	33,2	2260,3	27,8	74,8
61 4KT02 F6	0,0079	15	44	66	0,67	2,85	5,99	0,19	5,31	0,89	0,11	2,77	1099,8	58,4	1370,0	82,1	1820,8	50,5	60,4
62 4KT02 G6	0,0034	3	5	7	0,66	7,96	6,93	0,42	6,65	0,96	0,14	1,95	2251,1	149,7	2227,1	154,3	2205,0	43,1	102,1
65 4KT02 H6	0,0025	14	45	50	0,91	4,88	3,47	0,29	3,27	0,94	0,12	1,17	1656,3	54,2	1799,2	62,5	1969,2	22,9	84,1
66 4KT02 I6	0,0736	13	747	170	4,43	0,86	16,12	0,07	8,98	0,56	0,09	13,39	416,0	37,3	631,4	101,8	1504,7	201,5	27,6
67 4KT02 J6	0,0016	13	4	23	0,18	7,16	3,17	0,40	2,58	0,82	0,13	1,83	2181,0	56,4	2131,7	67,6	2084,5	38,2	104,6
68 4KT02 K6	0,0062	13	151	62	2,43	2,94	5,57	0,19	5,36	0,96	0,11	1,52	1131,3	60,6	1392,2	77,5	1818,3	27,7	62,2
69 4KT02 L6	0,0118	5	25	16	1,63	6,40	4,17	0,38	3,35	0,80	0,12	2,49	2055,9	68,9	2032,3	84,8	2008,3	50,0	102,4
70 4KT02 F7	0,0029	20	24	47	0,51	7,15	2,21	0,40	1,76	0,80	0,13	1,33	2174,3	38,2	2130,5	47,0	2088,4	27,8	104,1
71 4KT02 G7	0,0016	13	12	36	0,34	3,45	1,87	0,27	1,17	0,63	0,09	1,46	1539,8	18,0	1515,4	28,3	1481,5	21,6	103,9
72 4KT02 H7	0,0060	41	54	114	0,48	5,57	1,95	0,34	1,01	0,52	0,12	1,67	1864,5	18,8	1910,8	37,3	1961,4	32,8	95,1
73 4KT02 I7	0,0081	3	9	16	0,56	1,37	8,66	0,16	7,50	0,87	0,06	4,33	929,2	69,7	874,3	75,7	737,5	31,9	126,0
74 4KT02 L7	0,0057	3	16	18	0,91	1,07	20,83	0,14	19,80	0,95	0,05	6,49	857,4	169,7	737,4	153,6	387,9	25,2	221,0
77 4KT02 F10	0,0020	12	13	28	0,47	7,46	4,87	0,39	4,47	0,92	0,14	1,94	2138,0	95,6	2168,8	105,7	2198,0	42,7	97,3
78 4KT02 G10	0,0020	4	3	9	0,35	7,68	3,65	0,40	2,68	0,73	0,14	2,48	2186,7	58,5	2193,9	80,1	2200,7	54,7	99,4
79 4KT02 H10	0,0034	8	13	24	0,57	6,63	4,31	0,36	3,88	0,90	0,14	1,88	1961,7	76,1	2063,3	88,9	2166,4	40,7	90,6
80 4KT02 I10	0,0060	25	101	303	0,34	1,82	8,07	0,12	7,91	0,98	0,11	1,61	733,5	58,0	1052,1	84,9	1790,2	28,8	41,0

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c						Idades (Ma)						^f Conc % 6/8-7/6	
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		1 s abs
81 4KT02 F8	0,0059	4	17	29	0,58	1,21	4,50	0,13	3,56	0,79	0,07	2,74	813,7	29,0	803,6	36,1	775,5	21,3	104,9
82 4KT02 I8	0,0058	6	7	13	0,59	7,75	2,72	0,41	2,21	0,81	0,14	1,59	2222,1	49,0	2202,8	59,9	2184,9	34,7	101,7
83 4KT02 E9	0,0061	6	16	14	1,15	7,47	7,82	0,41	7,70	0,98	0,13	1,41	2220,6	170,9	2169,2	169,7	2120,8	29,8	104,7
84 4KT02 F9	0,0014	17	25	27	0,93	18,67	5,39	0,62	5,31	0,99	0,22	0,91	3090,2	164,1	3025,1	163,0	2982,1	27,0	103,6
Formação Piriá – Fácies ap – Segmento Oeste (DDG-226)																			
03 DDG226 A1	0,0004	12	24	36	0,68	6,76	7,00	0,38	6,84	0,98	0,13	1,49	2094,9	143,4	2080,4	145,7	2066,0	30,7	101,4
04 DDG226 B1	0,0003	12	32	39	0,83	6,79	9,37	0,39	9,31	0,99	0,13	1,01	2118,4	197,2	2083,9	195,2	2050,0	20,7	103,3
05 DDG226 C1	0,0004	10	21	39	0,54	6,25	6,30	0,35	6,17	0,98	0,13	1,28	1986,1	159,6	2037,9	165,8	2090,7	26,7	95,0
06 DDG226 D1	0,0000	3	6	7	0,85	5,81	3,96	0,36	3,62	0,91	0,12	1,62	1973,6	71,4	1947,7	77,2	1920,2	31,1	102,8
07 DDG226 E1	0,0002	10	27	46	0,60	3,27	7,90	0,19	7,70	0,97	0,13	1,76	1106,4	85,2	1473,8	116,4	2051,9	36,2	53,9
08 DDG226 F1	0,0043	6	9	13	0,70	7,33	2,64	0,40	1,96	0,74	0,13	1,77	2154,0	42,2	2152,6	56,9	2151,3	38,1	100,1
09 DDG226 G1	0,0009	15	8	27	0,29	13,92	2,70	0,53	2,54	0,94	0,19	0,89	2741,6	69,8	2744,0	74,0	2745,9	24,5	99,8
10 DDG226 H1	0,0075	4	10	12	0,81	3,06	12,00	0,18	11,66	0,97	0,12	2,82	1077,6	125,7	1422,5	170,7	1984,8	55,9	54,3
11 DDG226 I1	0,0059	1	5	5	0,87	2,11	9,99	0,24	6,05	0,61	0,06	7,96	1381,0	83,5	1151,9	115,1	743,1	59,1	185,8
12 DDG226 K1	0,0031	7	15	20	0,74	6,26	3,45	0,36	3,10	0,90	0,13	1,52	1964,5	60,9	2012,6	69,5	2062,3	31,3	95,3
15 DDG226 L1	0,0097	3	4	5	0,91	6,75	4,57	0,38	2,43	0,53	0,13	3,88	2097,2	50,9	2078,6	95,1	2060,2	79,9	101,8
16 DDG226 G2	0,0042	3	7	12	0,62	3,11	7,74	0,34	7,52	0,97	0,07	1,82	1899,2	142,9	1434,9	111,0	800,5	14,5	237,3
17 DDG226 F2	0,0011	10	13	24	0,55	7,21	2,18	0,40	1,76	0,81	0,13	1,29	2179,6	38,4	2137,2	46,6	2096,7	27,0	104,0
18 DDG226 E2	0,0038	12	25	31	0,79	6,42	3,22	0,36	2,59	0,80	0,13	1,92	1983,6	51,4	2034,5	65,6	2086,5	40,0	95,1
19 DDG226 D2	0,0009	10	8	23	0,35	7,54	3,08	0,41	2,77	0,90	0,13	1,34	2200,7	61,0	2177,5	67,1	2155,8	29,0	102,1
20 DDG226 C2	0,0047	11	34	35	0,97	6,37	5,97	0,36	5,90	0,99	0,13	0,95	2000,6	118,0	2028,0	121,1	2056,0	19,6	97,3
21 DDG226 B2	0,0060	11	26	48	0,55	6,13	3,97	0,35	3,77	0,95	0,13	1,25	1950,0	73,5	1995,0	79,3	2041,9	25,6	95,5
22 DDG226 A2	0,0027	5	15	14	1,07	5,80	5,55	0,35	4,66	0,84	0,12	3,02	1956,1	91,1	1946,6	108,1	1936,6	58,5	101,0
23 DDG226 A3	0,0050	15	62	87	0,72	2,77	6,16	0,16	6,06	0,98	0,12	1,10	972,3	58,9	1348,8	83,0	2009,1	22,0	48,4

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c					Idades (Ma)					^f Conc % 6/8-7/6			
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs
24 DDG226 B3	0,0042	8	12	18	0,64	7,52	3,71	0,40	3,37	0,91	0,14	1,56	2175,5	73,3	2175,3	80,8	2175,1	33,9	100,0
27 DDG226 C3	0,0034	16	21	32	0,64	7,44	2,95	0,39	2,79	0,95	0,14	0,95	2131,1	59,5	2166,3	63,8	2199,8	20,8	96,9
28 DDG226 D3	0,0098	15	25	56	0,46	4,04	3,60	0,22	3,14	0,87	0,13	1,76	1301,0	40,9	1642,6	59,2	2112,5	37,2	61,6
29 DDG226 A4	0,0022	8	10	17	0,57	7,37	2,28	0,40	2,10	0,92	0,13	0,90	2180,7	45,7	2156,8	49,2	2134,1	19,3	102,2
30 DDG226 B4	0,0019	8	12	16	0,77	7,27	2,19	0,40	1,64	0,75	0,13	1,45	2161,9	35,5	2144,9	47,0	2128,5	30,8	101,6
31 DDG226 C4	0,0070	11	65	80	0,82	4,10	16,73	0,23	16,65	0,99	0,13	1,68	1328,8	221,2	1654,5	276,8	2097,0	35,1	63,4
32 DDG226 D4	0,0033	8	10	18	0,55	7,41	3,88	0,40	3,10	0,80	0,13	2,32	2161,4	67,1	2162,1	83,8	2162,8	50,2	99,9
33 DDG226 E4	0,0055	35	32	70	0,46	13,95	8,98	0,46	8,96	1,00	0,22	0,53	2432,1	218,0	2746,6	246,6	2986,7	15,9	81,4
34 DDG226 4	0,0060	6	27	24	1,14	2,42	4,64	0,21	2,88	0,62	0,08	3,64	1242,9	35,8	1247,8	57,9	1256,3	45,7	98,9
35 DDG226 L5	0,0041	9	32	36	0,89	7,36	3,39	0,40	2,82	0,83	0,13	1,88	2161,7	61,0	2156,6	73,2	2151,8	40,5	100,5
36 DDG226 I5	0,0052	4	22	30	0,73	1,46	10,38	0,17	8,63	0,83	0,06	5,77	1016,3	87,7	913,8	94,9	673,6	38,9	150,9
41 DDG226 G5	0,0074	21	74	75	0,99	4,16	9,57	0,27	9,47	0,99	0,11	1,35	1522,0	144,2	1666,6	159,5	1853,9	25,0	82,1
42 DDG226 F5	0,0092	7	28	59	0,47	1,38	5,21	0,14	4,04	0,78	0,07	3,29	867,4	35,0	879,6	45,8	910,4	30,0	95,3
43 DDG226 E5	0,0061	19	31	44	0,71	5,66	6,60	0,31	6,41	0,97	0,13	1,59	1742,8	111,7	1925,2	127,1	2127,7	33,9	81,9
44 DDG226 D5	0,0017	17	26	36	0,71	7,60	2,95	0,41	2,73	0,92	0,14	1,14	2203,7	60,1	2184,6	64,6	2166,7	24,7	101,7
45 DDG226 C5	0,0109	14	29	65	0,45	5,09	3,30	0,30	2,53	0,77	0,12	2,12	1678,6	42,5	1835,0	60,6	2017,4	42,8	83,2
46 DDG226 B5	0,0018	12	10	21	0,49	8,42	6,69	0,43	6,60	0,99	0,14	1,07	2325,8	153,5	2277,4	152,3	2234,2	23,8	104,1
47 DDG226 A5	0,0034	9	26	26	0,98	6,19	4,85	0,36	4,54	0,94	0,13	1,70	1960,5	89,1	2002,9	97,2	2046,9	34,8	95,8
48 DDG226 A6	0,0031	11	16	28	0,58	7,20	2,74	0,38	2,27	0,83	0,14	1,53	2086,5	47,3	2136,1	58,5	2184,2	33,5	95,5
49 DDG226 C6	0,0022	12	15	33	0,45	7,35	2,65	0,40	2,47	0,93	0,13	0,98	2152,5	53,1	2155,2	57,2	2157,7	21,2	99,8
50 DDG226 D6	0,0046	11	51	60	0,86	4,13	13,15	0,23	13,08	0,99	0,13	1,33	1314,3	171,9	1660,2	218,3	2130,6	28,3	61,7
53 DDG226 E6	0,0095	14	9	48	0,19	2,69	4,92	0,22	4,06	0,83	0,09	2,77	1306,7	53,1	1325,5	65,2	1355,9	37,6	96,4
54 DDG226 I7	0,0045	5	8	9	0,81	5,54	9,35	0,34	8,85	0,95	0,12	3,02	1907,9	168,8	1907,1	178,2	1906,2	57,5	100,1
55 DDG226 C7	0,0099	10	45	47	0,96	4,31	4,96	0,27	4,58	0,92	0,12	1,88	1546,1	70,9	1695,4	84,0	1885,2	35,5	82,0

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c						Idades (Ma)						^f Conc % 6/8-7/6	
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		1 s abs
56 DDG226 A7	0,0045	21	55	72	0,77	7,80	5,14	0,34	4,99	0,97	0,17	1,22	1894,8	94,5	2208,6	113,4	2513,9	30,6	75,4
57 DDG226 B7	0,0055	4	12	12	0,95	2,89	13,26	0,24	13,10	0,99	0,09	2,06	1404,7	184,0	1379,0	182,8	1339,3	27,5	104,9
58 DDG226 A8	0,0091	21	23	63	0,37	5,06	2,94	0,29	2,51	0,85	0,13	1,53	1647,4	41,4	1829,1	53,8	2042,6	31,3	80,7
59 DDG226 B8	0,0028	2	3	4	0,72	4,85	11,44	0,32	10,69	0,93	0,11	4,09	1769,9	189,2	1794,4	205,4	1822,9	74,6	97,1
60 DDG226 D8	0,0043	10	18	19	0,95	5,38	4,91	0,35	4,49	0,91	0,11	1,99	1912,7	85,8	1881,5	92,4	1847,2	36,8	103,5
61 DDG226 I8	0,0037	5	22	19	1,19	5,95	6,16	0,35	5,63	0,91	0,12	2,50	1948,9	109,8	1968,3	121,3	1988,7	49,8	98,0
62 DDG226 I9	0,0127	14	37	107	0,35	3,60	3,16	0,23	2,57	0,81	0,11	1,84	1325,6	34,1	1548,9	49,0	1868,3	34,5	71,0
65 DDG226 F9	0,0122	12	79	92	0,87	3,12	5,83	0,21	5,49	0,94	0,11	1,97	1224,8	67,2	1436,7	83,7	1766,2	34,7	69,3
66 DDG226 E9	0,0044	10	16	19	0,86	7,05	3,30	0,40	2,56	0,77	0,13	2,09	2155,3	55,1	2117,7	69,9	2081,5	43,6	103,5
67 DDG226 D9	0,0071	3	9	17	0,56	1,10	17,38	0,17	17,04	0,98	0,05	3,41	988,6	168,5	753,3	130,9	105,7	3,6	935,4
68 DDG226 C9	0,0069	19	70	58	1,21	4,74	4,39	0,31	4,03	0,92	0,11	1,75	1755,6	70,7	1774,7	77,9	1797,2	31,4	97,7
69 DDG226 B9	0,0026	14	24	41	0,59	6,50	4,50	0,36	4,36	0,97	0,13	1,12	2001,8	87,2	2045,9	92,0	2090,7	23,4	95,7
70 DDG226 A9	0,0030	16	29	41	0,70	7,17	5,08	0,39	4,86	0,96	0,13	1,49	2116,0	102,9	2132,9	108,5	2149,2	32,0	98,5
71 DDG226 A10	0,0077	11	8	21	0,41	12,09	4,07	0,50	3,57	0,88	0,17	1,94	2625,3	93,8	2611,2	106,2	2600,2	50,4	101,0
72 DDG226 E10	0,0030	11	10	22	0,47	8,31	4,47	0,43	4,29	0,96	0,14	1,27	2311,8	99,1	2265,3	101,3	2223,6	28,2	104,0
73 DDG226 F10	0,0055	3	7	10	0,74	3,67	5,34	0,28	4,27	0,80	0,10	3,21	1582,2	67,5	1564,7	83,5	1541,1	49,4	102,7
74 DDG226 H10	0,0037	16	30	47	0,64	7,30	12,75	0,39	12,66	0,99	0,14	1,55	2107,1	266,7	2148,8	274,0	2188,8	34,0	96,3
79 DDG226 B12	0,0033	10	21	25	0,83	6,73	3,83	0,37	3,60	0,94	0,13	1,30	2050,8	73,8	2076,1	79,5	2101,3	27,4	97,6
80 DDG226 C12	0,0066	9	13	18	0,77	6,68	3,72	0,39	3,09	0,83	0,13	2,07	2109,4	65,2	2070,1	77,0	2031,2	42,0	103,9
81 DDG226 E12	0,0030	9	12	23	0,51	7,28	2,79	0,40	2,20	0,79	0,13	1,71	2177,1	48,0	2146,6	59,8	2117,5	36,1	102,8
82 DDG226 G12	0,0045	9	17	28	0,62	6,95	5,84	0,38	5,61	0,96	0,13	1,61	2082,8	116,8	2104,7	122,8	2126,2	34,3	98,0
83 DDG226 H12	0,0045	12	34	51	0,67	4,30	7,63	0,24	7,51	0,98	0,13	1,35	1409,1	105,9	1693,2	129,3	2065,5	27,9	68,2
84 DDG226 I12	0,0044	8	8	17	0,51	8,62	3,49	0,44	2,88	0,83	0,14	1,96	2334,0	67,3	2298,4	80,2	2266,9	44,5	103,0

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c						Idades (Ma)						^f Conc % 6/8-7/6	
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		1 s abs
Formação Piriá - Segmento Leste (16-RP-02)*																			
03 RP02 A3	0,0049	8	39	45	0,88	1,13	8,00	0,13	5,50	0,69	0,06	5,80	772,7	42,5	766,2	61,3	747,1	43,4	103,4
04 RP02 A6	0,0034	25	96	165	0,59	0,99	3,97	0,12	2,30	0,58	0,06	3,24	702,9	16,2	697,4	27,7	679,8	22,0	103,4
06 RP02 B4	0,0019	16	59	117	0,50	0,92	4,86	0,11	3,90	0,80	0,06	2,90	658,8	25,7	662,7	32,2	675,8	19,6	97,5
07 RP02 B6	0,0096	40	161	118	1,38	4,25	7,91	0,22	7,51	0,95	0,14	2,51	1271,1	95,4	1684,5	133,3	2246,3	56,3	56,6
08 RP02 C6	0,0484	21	203	198	1,03	0,56	19,27	0,07	17,25	0,90	0,06	8,58	428,9	74,0	453,8	87,4	581,8	49,9	73,7
09 RP02 C5	0,0797	9	50	52	0,97	0,81	58,38	0,11	22,70	0,39	0,05	53,78	693,5	157,4	604,8	353,1	284,9	153,2	243,4
10 RP02 C4	0,0029	8	37	66	0,57	0,79	10,05	0,10	8,10	0,81	0,06	5,96	589,4	47,7	589,1	59,2	588,0	35,0	100,2
11 RP02 C6	0,0159	15	73	128	0,57	0,89	6,07	0,10	5,36	0,88	0,06	2,86	640,5	34,3	644,8	39,1	659,8	18,9	97,1
12 RP02 E6	0,0030	8	54	64	0,85	0,78	8,59	0,09	6,05	0,70	0,06	6,10	583,5	35,3	582,7	50,0	579,7	35,3	100,6
15 RP02 H4	0,0005	56	52	80	0,65	18,92	1,83	0,58	1,09	0,60	0,24	1,47	2955,6	32,2	3037,6	55,5	3092,3	45,4	95,6
16 RP02 H5	0,0022	44	88	109	0,81	6,65	8,77	0,38	8,64	0,98	0,13	1,53	2085,5	180,2	2066,4	181,3	2047,4	31,3	101,9
17 RP02 E5	0,0051	21	64	182	0,35	0,80	4,11	0,10	2,86	0,70	0,06	2,96	598,9	17,1	594,3	24,4	576,9	17,1	103,8
70 RP-02 E1	0,0190	4	13	19	0,70	1,16	12,07	0,15	10,54	0,87	0,06	5,88	912,3	96,2	780,9	94,3	421,8	24,8	216,3
71 RP-02 C2	0,0065	8	49	66	0,75	0,72	9,94	0,09	2,98	0,30	0,06	3,19	583,3	70,9	585,1	73,6	592,3	18,9	98,5
72 RP-02 D2	0,0164	3	14	13	1,10	1,00	6,87	0,12	6,12	0,89	0,06	3,13	719,9	44,0	701,3	48,2	642,4	20,1	112,1
74 RP-02 F2	0,0033	5	17	35	0,47	0,86	6,57	0,12	5,34	0,81	0,05	3,83	710,0	37,9	629,7	41,4	350,9	13,5	202,3
78 RP-02 H2	0,0218	2	7	12	0,65	1,36	10,86	0,17	6,47	0,60	0,06	8,72	1009,8	65,3	871,2	94,6	533,4	46,5	189,3
79 RP-02 I2	0,0068	7	30	33	0,91	1,52	5,09	0,20	3,35	0,66	0,05	3,83	1188,4	39,9	938,2	47,8	389,0	14,9	305,5
80 RP-02 B3	0,0032	6	22	40	0,56	0,92	5,70	0,11	3,13	0,55	0,06	4,76	668,2	20,9	663,5	37,8	647,5	30,8	103,2
81 RP-02 D3	0,0045	1	10	10	1,00	0,86	37,81	0,13	34,57	0,91	0,05	15,31	789,1	272,8	627,9	237,4	83,3	12,8	947,6
82 RP-02 D3-n	0,0065	5	134	66	2,05	0,66	8,99	0,08	7,36	0,82	0,06	5,17	519,6	38,2	516,0	46,4	499,8	25,8	104,0
83 RP-02 E3	0,0406	39	107	175	0,62	3,42	23,08	0,15	22,38	0,97	0,16	5,66	903,2	202,1	1509,2	348,4	2507,3	141,9	36,0
84 RP-02 G3	0,0083	3	16	21	0,77	0,68	16,06	0,08	10,27	0,64	0,06	12,35	524,7	53,9	524,8	84,3	525,2	64,9	99,9

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c					Idades (Ma)					^f Conc % 6/8-7/6				
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs	
85 RP-02 I3	0,0005	30	24	43	0,56	14,87	3,81	0,56	2,26	0,59	0,19	3,06	2883,7	65,2	2806,8	106,9	2751,9	84,3	104,8	
089 RP-02 D4	0,0072	1	4	4	0,86	0,86	60,45	0,12	54,33	0,90	0,05	26,51	707,2	384,2	631,4	381,7	368,2	97,6	192,1	
090 RP-02 E4	0,0026	4	3	6	0,49	13,01	8,29	0,52	8,12	0,98	0,18	1,64	2705,8	219,8	2680,6	222,1	2661,5	43,6	101,7	
091 RP-02 F4	0,0061	6	37	34	1,09	0,90	14,17	0,11	8,76	0,62	0,06	11,14	654,9	57,4	649,4	92,0	630,4	70,2	103,9	
092 RP-02 G4	0,0048	4	4	7	0,50	7,17	8,20	0,40	7,57	0,92	0,13	3,15	2160,4	163,6	2132,8	175,0	2106,2	66,4	102,6	
093 RP-02 H4	0,0018	7	7	17	0,45	7,52	5,61	0,40	4,92	0,88	0,14	2,70	2182,0	107,4	2175,6	122,1	2169,5	58,5	100,6	
094 RP-02 B5	0,0341	5	23	25	0,89	0,94	6,93	0,11	5,28	0,76	0,06	4,49	674,4	35,6	673,6	46,7	670,8	30,2	100,5	
096 RP-02 D5	0,0033	4	18	32	0,55	0,80	11,18	0,10	8,93	0,80	0,06	6,74	596,5	53,2	594,2	66,4	585,5	39,4	101,9	
097 RP-02 E5	0,0024	4	14	34	0,42	0,86	8,50	0,10	5,28	0,62	0,06	6,65	634,9	33,5	631,6	53,7	619,8	41,2	102,4	
098 RP-02 G5	0,0015	3	8	22	0,35	0,95	11,83	0,11	9,27	0,78	0,06	7,36	679,8	63,0	677,1	80,1	667,9	49,1	101,8	
101 RP-02 H5	0,0027	6	59	37	1,61	1,01	9,42	0,12	6,75	0,72	0,06	6,58	705,6	47,6	706,5	66,6	709,6	46,7	99,4	
102 RP-02 A6	0,0035	7	40	46	0,89	1,08	8,53	0,12	6,97	0,82	0,06	4,91	744,9	51,9	743,6	63,4	739,5	36,3	100,7	
105 RP-02 F6	0,0013	2	10	10	0,96	1,29	10,48	0,14	7,85	0,75	0,07	6,94	847,9	66,6	841,5	88,2	824,5	57,2	102,8	
106 RP-02 G6	0,0023	5	21	35	0,60	0,99	9,47	0,11	5,34	0,56	0,06	7,82	698,8	37,3	697,9	66,1	694,9	54,3	100,6	
107 RP-02 A7	0,1470	11	67	61	1,11	0,76	22,56	0,09	16,50	0,73	0,06	15,39	552,9	91,2	571,7	129,0	647,5	99,6	85,4	
108 RP-02 B7	0,0015	27	48	62	0,79	7,36	9,78	0,41	9,43	0,96	0,13	2,59	2208,7	208,3	2156,0	210,8	2106,1	54,5	104,9	
109 RP-02 A8	0,0041	22	26	42	0,62	6,34	14,91	0,37	14,67	0,98	0,12	2,69	2034,1	298,3	2024,0	301,8	2013,8	54,1	101,0	
Formação Igarapé de Areia (16-RP-04)*																				
18 RP04 G1	0,0015	14	12	30	0,39	7,14	2,88	0,39	2,54	0,88	0,13	1,37	2105,1	53,4	2129,0	61,4	2152,2	29,4	97,8	
19 RP04 D1	0,0017	35	26	73	0,36	7,40	2,07	0,40	1,82	0,88	0,14	0,98	2147,9	39,0	2161,2	44,7	2173,9	21,4	98,8	
21 RP04 B1	0,0105	37	34	69	0,49	7,18	2,59	0,39	2,40	0,93	0,13	0,96	2128,2	51,1	2133,7	55,2	2139,1	20,6	99,5	
22 RP04 B2	0,0027	18	24	37	0,65	7,28	2,23	0,39	1,90	0,85	0,14	1,17	2122,4	40,3	2146,0	47,9	2168,6	25,4	97,9	
23 RP04 E2	0,0017	15	17	31	0,54	7,55	4,45	0,39	3,64	0,82	0,14	2,56	2142,6	77,9	2179,3	96,9	2214,1	56,7	96,8	
24 RP04 E3	0,0017	18	17	38	0,46	7,79	4,19	0,40	3,43	0,82	0,14	2,39	2162,7	74,3	2206,8	92,4	2247,9	53,8	96,2	

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c					Idades (Ma)					^f Conc % 6/8-7/6			
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs
27 RP04 D3	0,0025	11	11	23	0,46	7,45	2,83	0,40	2,58	0,91	0,13	1,18	2183,5	56,3	2166,9	61,4	2151,3	25,4	101,5
28 RP04 B4	0,0040	52	60	107	0,56	7,75	1,72	0,41	1,32	0,76	0,14	1,11	2228,8	29,3	2202,3	38,0	2177,6	24,2	102,4
29 RP04 D4	0,0014	19	19	39	0,48	7,73	1,97	0,41	1,72	0,87	0,14	0,96	2224,0	38,3	2199,6	43,4	2177,0	20,9	102,2
30 RP04 F5	0,0019	38	42	80	0,53	7,97	2,07	0,41	1,82	0,88	0,14	0,98	2221,3	40,5	2228,0	46,1	2234,2	21,9	99,4
31 RP04 D5	0,0099	17	18	32	0,57	7,54	2,49	0,40	1,94	0,78	0,14	1,57	2188,5	42,5	2178,3	54,3	2168,7	34,0	100,9
32 RP04 C5	0,0010	29	32	59	0,55	7,34	2,25	0,40	1,84	0,82	0,13	1,29	2168,8	39,9	2153,8	48,4	2139,5	27,5	101,4
33 RP04 C4	0,0117	57	40	150	0,27	7,34	2,67	0,39	2,32	0,87	0,14	1,33	2136,5	49,5	2154,0	57,6	2170,7	28,9	98,4
34 RP04 D2	0,0135	12	68	62	1,10	7,66	4,78	0,41	4,08	0,85	0,14	2,48	2221,9	90,7	2192,1	104,7	2164,4	53,7	102,7
35 RP04 E4	0,0112	23	20	47	0,43	7,70	1,93	0,41	1,67	0,87	0,14	0,96	2226,5	37,3	2196,8	42,4	2169,3	20,8	102,6
36 RP04 A4	0,0008	40	50	82	0,61	7,61	2,24	0,40	1,91	0,85	0,14	1,18	2172,3	41,5	2185,9	49,1	2198,8	25,9	98,8
03 RP-04 C1	0,0072	32	25	107	0,23	7,13	4,47	0,39	4,26	0,95	0,13	1,33	2107,6	1096,1	2127,8	1107,0	2147,4	28,6	98,1
04 RP-04 F1	0,0021	24	98	84	1,17	8,87	5,13	0,45	3,95	0,77	0,14	3,28	2381,4	94,0	2324,7	119,2	2275,3	74,5	104,7
05 RP-04 I1	0,3389	23	434	90	4,84	0,95	68,72	0,04	46,90	0,68	0,17	50,23	257,2	120,6	677,0	465,3	2546,7	1279,2	10,1
08 RP-04 E2	0,0036	18	19	28	0,66	7,42	2,26	0,41	1,74	0,77	0,13	1,45	2197,6	38,2	2163,3	48,9	2130,9	30,9	103,1
09 RP-04 F2	0,0107	11	17	20	0,86	7,95	4,38	0,42	3,74	0,85	0,14	2,29	2246,3	83,9	2224,9	97,5	2205,3	50,5	101,9
10 RP-04 G2	0,0047	12	16	27	0,59	7,62	5,72	0,41	5,09	0,89	0,13	2,59	2231,9	113,7	2187,3	125,0	2145,7	55,7	104,0
11 RP-04 H2	0,0131	20	24	34	0,70	7,18	7,88	0,38	7,44	0,94	0,14	2,60	2093,7	155,8	2133,9	168,2	2172,9	56,4	96,4
12 RP-04 I2	0,0492	20	58	52	1,13	6,29	2,18	0,35	1,25	0,57	0,13	1,79	1938,3	24,2	2016,4	44,0	2097,4	37,6	92,4
15 RP-04 B3	0,0014	15	20	27	0,75	6,50	3,86	0,38	2,90	0,75	0,12	2,55	2093,5	60,7	2046,0	79,0	1998,4	50,9	104,8
16 RP-04 E3	0,0067	11	10	18	0,56	6,90	8,13	0,40	7,92	0,97	0,13	1,82	2148,6	170,2	2098,2	170,5	2049,1	37,3	104,9
18 RP-04 G3	0,0224	41	190	181	1,06	3,33	9,39	0,18	8,22	0,88	0,13	4,53	1086,6	89,4	1488,5	139,7	2119,5	96,0	51,3
20 RP-04 I3	0,0733	37	173	134	1,30	2,96	11,80	0,16	10,73	0,91	0,14	4,92	935,7	100,4	1396,2	164,8	2192,3	107,8	42,7
21 RP-04 J3	0,0219	23	217	65	3,36	5,20	3,46	0,29	2,37	0,69	0,13	2,52	1617,3	38,4	1851,8	64,1	2126,6	53,6	76,1
22 RP-04 A4	0,0166	20	53	41	1,29	7,09	6,14	0,38	5,59	0,91	0,14	2,54	2076,2	116,1	2122,5	130,4	2167,5	55,0	95,8

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c						Idades (Ma)						^f Conc % 6/8-7/6	
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		1 s abs
23 RP-04 B4	0,1053	55	241	176	1,37	3,68	9,97	0,20	9,39	0,94	0,13	3,34	1165,5	109,5	1568,1	156,3	2162,1	72,1	53,9
27 RP-04 D4	0,0165	18	31	33	0,94	7,35	3,89	0,40	3,52	0,91	0,13	1,65	2183,4	77,0	2154,7	83,9	2127,5	35,2	102,6
28 RP-04 E4	0,0171	39	63	89	0,71	7,19	3,12	0,38	2,67	0,86	0,14	1,60	2089,9	55,9	2134,9	66,5	2178,6	34,9	95,9
31 RP-04 H4	0,0012	24	27	41	0,67	7,31	2,70	0,41	2,41	0,89	0,13	1,22	2198,5	53,0	2150,5	58,2	2105,0	25,7	104,4
32 RP-04 I4	0,0015	29	46	49	0,95	7,46	2,43	0,41	2,01	0,83	0,13	1,37	2215,5	44,5	2167,7	52,7	2122,8	29,0	104,4
34 RP-04 C5	0,0265	32	66	73	0,91	6,73	3,23	0,38	2,65	0,82	0,13	1,85	2090,5	55,4	2076,7	67,1	2063,1	38,2	101,3
35 RP-04 D5	0,0158	50	102	114	0,90	6,93	5,05	0,37	4,88	0,97	0,13	1,30	2052,5	100,1	2102,0	106,1	2150,9	28,0	95,4
36 RP-04 E5	0,0252	65	161	146	1,11	6,35	2,44	0,36	1,92	0,79	0,13	1,51	1980,3	38,0	2025,3	49,4	2071,5	31,2	95,6
42 RP-04 G5	0,0162	16	12	26	0,48	7,40	6,24	0,41	5,60	0,90	0,13	2,76	2205,9	123,5	2161,5	134,9	2119,5	58,6	104,1
43 RP-04 H5	0,0183	27	248	150	1,67	4,01	3,14	0,24	2,70	0,86	0,12	1,59	1389,9	37,6	1636,7	51,3	1970,2	31,3	70,5
44 RP-04 I5	0,0044	11	26	21	1,23	7,63	2,43	0,41	2,04	0,84	0,13	1,33	2227,9	45,3	2188,4	53,2	2151,5	28,6	103,6
45 RP-04 B6	0,0106	28	55	61	0,91	8,09	3,50	0,43	3,31	0,94	0,14	1,15	2297,1	76,0	2241,5	78,6	2191,0	25,2	104,8
46 RP-04 C6	0,0141	35	52	75	0,70	7,10	2,19	0,39	1,60	0,73	0,13	1,50	2109,0	33,7	2124,6	46,5	2139,6	32,0	98,6
47 RP-04 D6	0,0028	11	11	24	0,45	7,97	3,51	0,42	3,15	0,90	0,14	1,54	2240,5	70,6	2227,5	78,2	2215,6	34,2	101,1
48 RP-04 E6	0,0110	43	79	89	0,89	7,64	2,41	0,41	2,14	0,89	0,13	1,12	2233,2	47,8	2189,6	52,9	2149,0	24,1	103,9
49 RP-04 F6	0,0090	12	14	24	0,59	7,44	5,37	0,41	5,07	0,94	0,13	1,76	2207,1	112,0	2165,7	116,3	2126,7	37,4	103,8
50 RP-04 G6	0,0092	22	32	49	0,66	7,14	3,03	0,39	2,87	0,95	0,13	0,98	2141,8	61,5	2129,6	64,6	2117,8	20,7	101,1
53 RP-04 H6	0,0052	21	39	36	1,09	7,31	3,90	0,40	3,71	0,95	0,13	1,22	2192,0	81,2	2149,4	83,9	2109,0	25,8	103,9
54 RP-04 I6	0,0071	26	35	49	0,73	7,62	2,47	0,41	2,15	0,87	0,13	1,21	2222,7	47,8	2186,7	54,0	2153,1	26,1	103,2
56 RP-04 B7	0,0148	10	26	34	0,76	6,92	4,44	0,35	3,46	0,78	0,14	2,79	1948,0	67,3	2101,0	93,3	2254,4	62,9	86,4
57 RP-04 C7	0,0044	18	28	35	0,80	7,70	1,93	0,41	1,42	0,73	0,13	1,31	2234,3	31,8	2197,0	42,5	2162,4	28,4	103,3
58 RP-04 D7	0,0170	33	37	56	0,66	7,59	4,14	0,41	3,74	0,90	0,13	1,78	2237,5	83,7	2183,4	90,5	2133,0	37,9	104,9
59 RP-04 E7	0,0353	50	155	90	1,75	5,97	2,97	0,33	2,76	0,93	0,13	1,11	1814,9	50,1	1972,2	58,7	2141,4	23,8	84,8
60 RP-04 F7	0,0275	43	47	73	0,65	7,22	2,53	0,39	2,03	0,80	0,13	1,51	2141,5	43,4	2139,5	54,0	2137,6	32,2	100,2

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c					Idades (Ma)					^f Conc % 6/8-7/6			
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs
62 RP-04 D8	0,0097	22	26	36	0,74	7,89	3,33	0,41	3,00	0,90	0,14	1,45	2236,5	67,0	2218,2	73,8	2201,3	31,9	101,6
65 RP-04 E8	0,0118	11	16	18	0,89	7,95	3,56	0,42	2,53	0,71	0,14	2,51	2255,0	57,0	2225,3	79,3	2198,1	55,2	102,6
67 RP-04 H8	0,0086	4	3	6	0,45	8,13	8,44	0,42	7,89	0,93	0,14	2,99	2253,7	177,9	2245,9	189,6	2238,8	67,0	100,7
68 RP-04 J8	0,0279	5	15	20	0,76	7,75	8,61	0,42	8,23	0,96	0,13	2,52	2254,2	185,5	2202,4	189,5	2154,6	54,2	104,6
Formação Igarapé de Areia (06-KT-03)																			
85 6KT03 A1	0,0035	6	7	11	0,64	7,88	3,75	0,42	3,07	0,82	0,14	2,16	2267,4	69,5	2217,4	83,2	2171,4	47,0	104,4
86 6KT03 B1	0,2889	22	89	37	2,42	1,97	24,12	0,12	18,16	0,75	0,12	15,87	736,8	133,8	1106,4	266,8	1929,0	306,2	38,2
88 6KT03 D1	0,0754	18	75	117	0,65	1,17	20,07	0,08	18,11	0,90	0,11	8,65	467,4	84,7	785,1	157,6	1840,6	159,2	25,4
003 6KT03 E1	0,0021	4	3	8	0,41	7,63	3,10	0,41	2,64	0,85	0,13	1,63	2230,1	58,8	2188,9	67,8	2150,6	35,0	103,7
004 6KT03 F1	0,0454	21	12	77	0,16	3,72	5,74	0,23	3,63	0,63	0,12	4,44	1337,9	48,6	1576,5	90,5	1912,3	85,0	70,0
005 6KT03 G1	0,2508	14	49	184	0,27	0,24	27,01	0,02	22,42	0,83	0,10	15,06	111,5	25,0	222,5	60,1	1658,3	249,7	6,7
006 6KT03 H1	0,0055	4	5	9	0,60	6,84	2,56	0,38	2,25	0,88	0,13	1,21	2063,2	46,4	2091,0	53,4	2118,4	25,7	97,4
007 6KT03 I1	0,0078	4	3	7	0,47	7,10	2,33	0,39	1,97	0,85	0,13	1,25	2121,1	41,8	2123,9	49,5	2126,5	26,5	99,7
008 6KT03 J1	0,0014	13	14	25	0,55	7,60	2,04	0,41	1,67	0,82	0,13	1,17	2229,3	37,1	2185,1	44,5	2143,8	25,1	104,0
009 6KT03 A2	0,0038	4	6	9	0,70	7,24	2,28	0,40	1,96	0,86	0,13	1,17	2168,9	42,5	2141,1	48,9	2114,5	24,7	102,6
010 6KT03 B2	0,0512	12	11	40	0,27	2,93	18,51	0,18	14,54	0,79	0,12	11,45	1045,5	152,1	1389,6	257,2	1966,0	225,1	53,2
011 6KT03 C2	0,0468	21	61	175	0,35	2,42	10,12	0,15	8,25	0,82	0,11	5,86	922,0	76,1	1249,6	126,5	1869,0	109,4	49,3
012 6KT03 D2	0,0015	7	5	14	0,40	8,03	2,24	0,42	1,75	0,78	0,14	1,40	2280,4	40,0	2234,0	50,1	2191,8	30,7	104,0
015 6KT03 E2	0,0019	7	8	13	0,64	7,65	1,96	0,41	1,33	0,68	0,14	1,43	2197,6	29,3	2190,3	42,9	2183,5	31,3	100,6
016 6KT03 F2	0,0164	11	35	81	0,43	1,98	17,92	0,11	10,49	0,59	0,13	14,53	679,3	71,2	1107,6	198,5	2084,5	302,8	32,6
017 6KT03 G2	0,0024	4	4	9	0,41	8,01	2,85	0,41	2,27	0,79	0,14	1,73	2216,3	50,2	2232,5	63,6	2247,4	38,9	98,6
018 6KT03 I2	0,0041	3	3	6	0,40	7,29	3,96	0,41	3,61	0,91	0,13	1,62	2194,8	79,2	2147,7	85,0	2103,0	34,1	104,4
019 6KT03 J2	0,0039	3	2	5	0,46	8,27	6,59	0,41	5,82	0,88	0,15	3,11	2211,0	128,6	2260,9	149,1	2306,3	71,6	95,9
020 6KT03 A3	0,0046	3	2	5	0,45	7,76	3,11	0,41	2,35	0,76	0,14	2,03	2216,1	52,1	2203,8	68,5	2192,4	44,5	101,1

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c					Idades (Ma)					^f Conc % 6/8-7/6			
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs
021 6KT03 B3	0,0016	2	2	4	0,47	6,60	6,39	0,38	5,85	0,92	0,13	2,56	2063,9	120,8	2059,1	131,5	2054,2	52,5	100,5
022 6KT03 C3	0,0040	4	4	8	0,56	6,91	5,46	0,38	4,28	0,78	0,13	3,39	2089,8	89,5	2099,4	114,7	2108,7	71,5	99,1
023 6KT03 D3	0,0013	9	5	19	0,25	7,76	2,30	0,42	1,35	0,59	0,13	1,87	2258,0	30,4	2203,7	50,8	2153,5	40,2	104,8
024 6KT03 E3	0,0029	5	6	11	0,57	7,48	3,28	0,41	2,36	0,72	0,13	2,27	2212,6	52,3	2170,2	71,1	2130,3	48,4	103,9
027 6KT03 F3	0,0022	7	5	14	0,37	7,27	2,30	0,39	1,78	0,78	0,13	1,45	2136,3	38,1	2145,4	49,3	2154,2	31,3	99,2
028 6KT03 G3	0,0040	9	7	25	0,29	6,88	3,06	0,38	2,70	0,88	0,13	1,45	2087,7	56,3	2095,8	64,2	2103,7	30,6	99,2
029 6KT03 H3	0,0018	5	5	9	0,53	7,85	2,83	0,42	2,54	0,90	0,14	1,25	2252,2	57,2	2214,2	62,7	2179,2	27,3	103,4
030 6KT03 I3	0,0024	11	4	19	0,23	7,46	2,30	0,41	1,84	0,80	0,13	1,38	2202,8	40,6	2168,6	49,9	2136,3	29,4	103,1
031 6KT03 J3	0,0031	6	7	12	0,61	7,58	1,63	0,41	1,25	0,77	0,13	1,04	2223,6	27,9	2182,1	35,6	2143,4	22,3	103,7
032 6KT03 A4	0,0065	2	2	5	0,39	6,54	4,71	0,37	3,66	0,78	0,13	2,96	2014,2	73,8	2051,8	96,6	2089,7	61,9	96,4
033 6KT03 B4	0,0039	3	3	7	0,39	8,04	3,49	0,43	2,66	0,76	0,14	2,25	2289,8	61,0	2235,7	78,0	2186,4	49,3	104,7
034 6KT03 C4	0,0023	16	17	34	0,52	6,99	1,90	0,38	1,34	0,70	0,13	1,35	2091,7	28,0	2110,5	40,2	2128,9	28,8	98,3
035 6KT03 D4	0,0042	4	3	10	0,34	6,57	3,99	0,37	3,63	0,91	0,13	1,67	2019,3	73,2	2055,4	82,1	2091,8	34,9	96,5
036 6KT03 E4	0,0023	5	3	10	0,30	7,59	2,39	0,41	1,87	0,78	0,13	1,49	2207,7	41,3	2183,4	52,2	2160,7	32,1	102,2
039 6KT03 F4	0,0081	6	8	14	0,56	6,79	4,47	0,38	4,16	0,93	0,13	1,64	2058,8	85,6	2084,2	93,2	2109,4	34,6	97,6
040 6KT03 G4	0,0028	7	5	15	0,33	7,69	2,40	0,42	1,96	0,81	0,13	1,40	2246,1	43,9	2195,2	52,8	2148,0	30,0	104,6
041 6KT03 H4	0,0033	7	6	15	0,41	7,26	3,41	0,40	2,94	0,86	0,13	1,72	2156,7	63,5	2143,9	73,1	2131,7	36,6	101,2
042 6KT03 I4	0,0256	17	11	28	0,39	4,69	5,23	0,26	3,78	0,72	0,13	3,62	1494,3	56,5	1765,2	92,4	2102,7	76,0	71,1
043 6KT03 J4	0,0059	5	5	11	0,51	7,40	3,70	0,39	3,13	0,84	0,14	1,99	2112,4	66,0	2161,5	80,1	2208,4	43,9	95,7
044 6KT03 A5	0,0029	6	5	11	0,43	7,21	2,65	0,40	2,17	0,82	0,13	1,54	2185,6	47,3	2137,1	56,7	2090,8	32,1	104,5
045 6KT03 B5	0,0052	5	4	11	0,35	7,38	2,59	0,41	1,90	0,73	0,13	1,76	2199,8	41,9	2158,9	56,0	2120,2	37,3	103,8
046 6KT03 C5	0,0035	4	5	8	0,59	6,43	5,73	0,38	5,44	0,95	0,12	1,79	2065,2	112,3	2036,3	116,6	2007,1	36,0	102,9
047 6KT03 D5	0,0022	6	5	12	0,38	7,82	2,64	0,42	2,05	0,78	0,14	1,67	2259,1	46,3	2210,1	58,5	2165,1	36,2	104,3
048 6KT03 E5	0,0045	2	2	5	0,47	7,05	6,09	0,40	5,27	0,87	0,13	3,05	2165,9	114,2	2117,5	128,9	2070,9	63,1	104,6

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c					Idades (Ma)					^f Conc % 6/8-7/6			
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 s abs
051 6KT03 F5	0,0038	7	6	17	0,38	7,17	2,39	0,39	2,11	0,88	0,13	1,12	2124,1	44,7	2132,9	50,9	2141,5	24,0	99,2
052 6KT03 G5	0,0033	6	5	11	0,45	7,06	2,46	0,40	2,06	0,83	0,13	1,36	2154,7	44,3	2119,4	52,2	2085,2	28,3	103,3
053 6KT03 H5	0,0038	3	3	7	0,47	7,51	2,95	0,41	1,84	0,62	0,13	2,31	2217,1	40,7	2174,5	64,2	2134,5	49,3	103,9
054 6KT03 I5	0,0094	2	2	4	0,40	6,89	4,05	0,40	2,81	0,69	0,13	2,92	2147,0	60,3	2097,1	84,9	2048,5	59,8	104,8
055 6KT03 J5	0,0038	5	5	8	0,62	7,87	5,53	0,42	5,35	0,97	0,14	1,40	2250,1	120,3	2216,8	122,5	2186,1	30,5	102,9
056 6KT03 A6	0,0033	9	6	20	0,30	7,05	3,17	0,39	2,82	0,89	0,13	1,45	2108,1	59,5	2118,1	67,2	2127,7	30,8	99,1
057 6KT03 C6	0,0029	4	4	7	0,57	7,34	4,02	0,40	3,45	0,86	0,13	2,06	2183,2	75,4	2153,7	86,6	2125,6	43,7	102,7
058 6KT03 D6	0,0982	6	15	17	0,88	2,34	28,58	0,14	25,23	0,88	0,12	13,42	839,4	211,8	1224,6	350,0	1986,5	266,5	42,3
059 6KT03 E6	0,0050	2	3	5	0,62	8,25	2,74	0,43	2,09	0,76	0,14	1,78	2288,0	47,7	2258,9	61,9	2232,6	39,7	102,5
060 6KT03 G6	0,0832	11	54	51	1,08	1,67	18,10	0,10	16,23	0,90	0,12	8,02	618,5	100,4	999,0	180,8	1965,5	157,7	31,5
063 6KT03 H6	0,0037	1	1	3	0,37	6,07	5,48	0,37	4,94	0,90	0,12	2,37	2015,5	99,5	1986,4	108,8	1956,3	46,4	103,0
064 6KT03 I6	0,0094	15	13	29	0,45	7,43	5,46	0,41	5,23	0,96	0,13	1,58	2209,4	115,5	2164,7	118,2	2122,6	33,6	104,1
065 6KT03 J6	0,0055	6	8	10	0,78	7,86	3,34	0,42	2,25	0,67	0,14	2,47	2249,4	50,6	2215,0	74,0	2183,3	53,9	103,0
066 6KT03 A7	0,0060	4	3	7	0,46	7,44	2,68	0,40	2,00	0,75	0,13	1,78	2169,2	43,4	2166,0	58,1	2162,9	38,6	100,3
067 6KT03 C7	0,0045	3	3	6	0,51	7,69	3,08	0,42	2,25	0,73	0,13	2,11	2246,8	50,6	2195,3	67,7	2147,5	45,2	104,6
068 6KT03 D7	0,0071	7	8	15	0,54	7,84	2,01	0,41	1,52	0,76	0,14	1,32	2223,4	33,8	2212,4	44,5	2202,1	29,0	101,0
069 6KT03 E7	0,0021	10	13	15	0,83	7,48	5,04	0,41	4,86	0,96	0,13	1,33	2218,1	107,9	2170,3	109,4	2125,4	28,3	104,4
070 6KT03 F7	0,0036	8	7	17	0,44	7,28	3,99	0,40	3,70	0,93	0,13	1,49	2186,8	81,0	2146,4	85,6	2108,0	31,4	103,7
071 6KT03 G7	0,0165	23	15	75	0,20	6,41	15,33	0,38	14,89	0,97	0,12	3,66	2071,9	308,4	2033,6	311,7	1994,9	73,0	103,9
072 6KT03 H7	0,0052	3	2	6	0,40	6,90	3,56	0,39	2,98	0,84	0,13	1,95	2145,4	63,9	2098,5	74,7	2052,7	40,0	104,5
075 6KT03 I7	0,0035	4	6	8	0,76	8,65	2,25	0,44	1,62	0,72	0,14	1,57	2354,5	38,1	2302,2	51,9	2256,1	35,4	104,4
076 6KT03 J7	0,0076	12	16	47	0,34	5,68	10,46	0,32	10,34	0,99	0,13	1,62	1779,3	183,9	1928,2	201,7	2092,3	33,8	85,0
077 6KT03 A8	0,0078	6	4	12	0,38	7,03	8,03	0,38	7,86	0,98	0,13	1,66	2083,6	163,7	2115,4	169,9	2146,4	35,6	97,1
078 6KT03 B8	0,0057	4	3	7	0,47	8,38	3,09	0,43	2,64	0,85	0,14	1,60	2317,8	61,2	2272,9	70,2	2232,7	35,8	103,8

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c						Idades (Ma)						^f Conc % 6/8-7/6	
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pbe	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		1 s abs
079 6KT03 C8	0,0114	20	25	51	0,49	6,89	3,93	0,38	3,61	0,92	0,13	1,55	2071,7	74,8	2097,3	82,4	2122,6	32,8	97,6
080 6KT03 D8	0,0026	6	5	12	0,42	7,77	2,67	0,42	2,12	0,79	0,14	1,62	2241,0	47,4	2205,0	58,8	2171,8	35,2	103,2
081 6KT03 E8	0,0015	8	7	16	0,42	7,40	3,61	0,41	3,09	0,85	0,13	1,88	2208,2	68,2	2160,9	78,0	2116,3	39,7	104,3
082 6KT03 F8	0,0024	4	2	7	0,21	7,26	3,34	0,40	2,96	0,89	0,13	1,55	2182,9	64,6	2143,7	71,6	2106,4	32,7	103,6
083 6KT03 G8	0,0020	5	5	11	0,45	6,84	3,75	0,39	2,90	0,78	0,13	2,37	2126,0	61,8	2091,2	78,4	2057,1	48,7	103,3
084 6KT03 H8	0,0054	4	5	11	0,48	6,85	2,67	0,37	2,31	0,86	0,13	1,34	2039,9	47,0	2092,4	55,8	2144,5	28,8	95,1
087 6KT03 I8	0,0084	6	4	14	0,29	7,46	2,82	0,40	2,39	0,85	0,14	1,50	2163,1	51,6	2167,7	61,2	2172,0	32,7	99,6
088 6KT03 J8	0,0053	2	3	5	0,64	7,08	2,56	0,38	1,90	0,74	0,14	1,72	2061,5	39,1	2121,4	54,3	2179,9	37,5	94,6
089 6KT03 A9	0,0061	3	4	7	0,55	6,99	3,48	0,40	2,85	0,82	0,13	1,99	2150,9	61,4	2110,1	73,4	2070,6	41,2	103,9
090 6KT03 B9	0,0066	2	2	4	0,55	8,55	6,21	0,42	5,91	0,95	0,15	1,90	2253,1	133,2	2291,4	142,3	2325,7	44,2	96,9
091 6KT03 C9	0,0052	3	3	5	0,56	7,00	5,76	0,40	5,24	0,91	0,13	2,38	2151,6	112,8	2111,5	121,6	2072,7	49,4	103,8
096 6KT03 I9	0,0048	2	2	5	0,44	6,87	2,90	0,38	2,29	0,79	0,13	1,78	2059,7	47,2	2094,3	60,7	2128,5	37,8	96,8
092 6KT03 E9	0,0048	4	5	9	0,60	7,81	2,43	0,41	1,94	0,80	0,14	1,47	2213,7	42,9	2209,6	53,7	2205,8	32,4	100,4
093 6KT03 F9	0,0045	4	4	9	0,51	7,41	3,40	0,41	2,86	0,84	0,13	1,85	2211,6	63,1	2162,4	73,6	2116,1	39,2	104,5
091 6KT03 C9	0,0052	3	3	5	0,56	7,00	5,76	0,40	5,24	0,91	0,13	2,38	2151,6	112,8	2111,5	121,6	2072,7	49,4	103,8
095 6KT03 H9	0,0070	2	2	5	0,38	5,64	5,33	0,34	4,49	0,84	0,12	2,86	1905,9	85,6	1922,5	102,4	1940,4	55,5	98,2
096 6KT03 I9	0,0048	2	2	5	0,44	6,87	2,90	0,38	2,29	0,79	0,13	1,78	2059,7	47,2	2094,3	60,7	2128,5	37,8	96,8
099 6KT03 J9	0,0101	4	3	7	0,40	7,00	3,77	0,38	3,60	0,95	0,13	1,12	2061,7	74,2	2110,8	79,6	2159,0	24,2	95,5
100 6KT03 A10	0,0033	3	3	7	0,49	7,04	2,00	0,40	1,08	0,54	0,13	1,68	2160,4	23,3	2115,9	42,2	2073,0	34,8	104,2
101 6KT03 B10	0,0098	7	10	17	0,59	6,81	5,43	0,38	4,89	0,90	0,13	2,34	2079,3	101,8	2087,2	113,3	2094,9	49,1	99,3
101 6KT03 B10	0,0098	7	10	17	0,59	6,81	5,43	0,38	4,89	0,90	0,13	2,34	2079,3	101,8	2087,2	113,3	2094,9	49,1	99,3
102 6KT03 C10	0,0026	7	4	14	0,29	7,36	2,22	0,41	1,67	0,75	0,13	1,46	2193,4	36,7	2155,7	48,0	2119,9	31,1	103,5
103 6KT03 D10	0,0054	4	4	9	0,42	7,85	3,09	0,42	2,30	0,75	0,14	2,06	2239,0	51,6	2213,8	68,3	2190,6	45,0	102,2
104 6KT03 E10	0,0064	5	6	11	0,58	7,80	2,69	0,41	1,53	0,57	0,14	2,21	2199,6	33,6	2207,9	59,3	2215,6	49,0	99,3

Spot Number	f_{206}^a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U ^b	Razões Isotópicas ^c						Idades (Ma)						^f Conc % 6/8-7/6	
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s [%]	Rho ^d	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ^e	1 s [%]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 s abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		1 s abs
105 6KT03 F10	0,0112	7	13	14	0,91	6,76	5,96	0,38	5,62	0,94	0,13	1,98	2084,7	117,1	2080,0	123,9	2075,3	41,1	100,5
106 6KT03 G10	0,0048	7	7	15	0,45	6,95	3,16	0,39	2,48	0,79	0,13	1,96	2110,1	52,3	2105,1	66,5	2100,2	41,1	100,5
107 6KT03 H10	0,0030	6	6	15	0,40	6,69	2,94	0,37	2,34	0,80	0,13	1,77	2021,3	47,3	2070,9	60,8	2120,6	37,6	95,3
108 6KT03 J10	0,0014	15	10	31	0,32	7,72	2,52	0,41	2,26	0,90	0,14	1,11	2232,7	50,5	2199,0	55,4	2167,6	24,0	103,0

^a Fraction of the non-radiogenic ²⁰⁶Pb in the analyzed zircon spot, where $f_{206} = [^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}]_c / [^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}]_s$ (c=common; s=sample)

^b Th/U ratios and amount of Pb, Th and U (in ppm) are calculated relative to GJ-1 reference zircon

^c Corrected for background and within-run Pb/U fractionation and normalised to reference zircon GJ-1 (ID-TIMS values/measured value); ²⁰⁷Pb/²³⁵U calculated using

^d Rho is the error correlation defined as the quotient of the propagated errors of the ²⁰⁶Pb/²³⁸U and the ²⁰⁷/²³⁵U ratio

^e Corrected for mass-bias by normalising to GJ-1 reference zircon and common Pb using the model Pb composition of Stacey and Kramers (1975)

^f Degree of concordance, 6/8-7/6 = (²⁰⁶Pb/²³⁸U age * 100) / (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb age), according to Horstwood *et al.*, 2016.