

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

Patrícia Pereira de França

**ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO E PROVENIÊNCIA DAS UNIDADES CLÁSTICAS
(APTIANO-ALBIANO) DA BACIA DE PERNAMBUCO.**

Recife
2017

Patrícia Pereira de França

**ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO E PROVENIÊNCIA DAS UNIDADES CLÁSTICAS
(APTIANO-ALBIANO) DA BACIA DE PERNAMBUCO.**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental. Orientadora: Prof^a. Lúcia Maria Mafra Valença, Dr. Co-orientador: Prof. João Aduino de Souza Neto, Dr.

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

- F814a França, Patrícia Pereira de.
Análise de composição e proveniência das unidades clásticas (Aptiano-Albiano) da bacia de Pernambuco. / Patrícia Pereira de França. - 2017.
156folhas, Il.; e Tabs.
- Orientadora: Prof^a. Dr^a Lúcia Maria Mafra Valença
Coorientador: Prof. Dr. João Aduino de Souza Neto
- Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação Geociências, 2017.
Inclui Referências e Anexos.
1. Geociências. 2. Minerais pesados. 3. Proveniência. 4. Bacia sedimentar de Pernambuco. I. Valença, Lúcia Maria Mafra (Orientadora). II. Souza Neto, João Aduino de (Coorientador). III. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-164

Patrícia Pereira de França

**ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO E PROVENIÊNCIA DAS UNIDADES CLÁSTICAS
(APTIANO-ALBIANO) DA BACIA DE PERNAMBUCO.**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental.

Aprovado em 24/03/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Lúcia Maria Mafra Valença (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a. Dr.^a. Helenice Vital (Examinador Externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof.^a. Dr. George Satander de Sá Freire (Examinador Externo)
Universidade Federal do Ceará

Prof.^a. Dr. Vírginio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Antônio Barbosa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFPE (PPGEOC-UFPE) pelo suporte e apoio. A Agência Nacional do Petróleo Gás e Biocombustíveis (ANP) pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos (PRH-26/ANP/UFPE). A minha orientadora, professora Dra. Lúcia Maria Mafra Valença, pelo apoio na execução desse trabalho, e por sua amizade ao longo dos anos ao qual sou grata. Ao meu co-orientador professor Dr. João Adauto de Souza Neto, pela confiança e apoio. Ao professor Dr. Robert Martin, por seu acolhimento e orientação, durante minha permanência no doutorado sanduíche. Ao professor Dr. José Antônio Barbosa por toda ajuda e incentivo. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida e pelo estágio de doutorado Sanduíche realizado na McGill University em Montreal, o qual tornou possível a realização das análises nos laboratórios vinculados. Aos Laboratórios de Dispositivos e Nanoestruturas (LDN) da Universidade Federal de Pernambuco; de Dispositivos e Nanoestruturas de Microanálises e (DEGEO/EM), e ao Laboratório integrante da RMIc, Rede de Microscopia e Microanálises de Minas Gerais (FAPEMIG); e ao Departamento de Ciências da Terra e Planetária da McGill University em Montreal, e ao laboratórios vinculados da GEOTOP. À minha família, Henrique Correia, Dione Célia, Ronaldo França e Jéssica França, eu agradeço imensamente por todo apoio, amor e por estarem inquestionavelmente sempre ao meu lado. Aos meus amigos da Pós-Graduação pela amizade que construímos ao longo dessa jornada e por todo apoio na construção desse trabalho, em especial Felipe Santana, Osvaldo Correia e Lara Quinamo. E por fim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Resumo

A Bacia sedimentar de Pernambuco está localizada na Província da Borborema, no nordeste do Brasil. Dentre as formações de interesse são descritas as formações Cabo, Suape, Paraíso. Posteriormente, dois afloramentos da Formação Barreiras foram incorporados a esse trabalho para melhor compreensão da evolução dos depósitos sedimentares na Bacia de Pernambuco. O trabalho desenvolveu uma investigação das frações de minerais pesados e idades radiométricas de zircões detríticos de amostras representativas. Os minerais pesados, foram identificados opticamente e por microscópio eletrônico de varredura, com espectrômetro de comprimento de onda e energia (WDS e EDS). As análises morfológicas e a zonação interna dos grãos de zircão foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura com detector catodoluminescência (MEV-CL). Além disso, as idades dos zircões foram obtidas através das análises de U e Pb, utilizando a espectrometria de massa por plasma acoplado e indução de ablação a laser (U-Pb, LA-ICP-MS). Os minerais foram separados de acordo com a frequência média, e de acordo com as fontes (ígnea e metamórfica), além de estabelecidos cálculos dos índices para os minerais altamente estáveis (ZRT), rutilo + zircão (RZ), e minerais estáveis (MET). Os minerais considerados abundantes são: magnetita (30-60%), ilmenita (15-40%), muscovita (10-26%), zircão (5-20%) e turmalina (5-15%). Comuns: Biotita (2-5%) e granada (2-5%); e raros: monazita (2-3%), rutilo (4%), espodumênio (2%) e cianita. A Formação Cabo contém altos níveis de minerais estáveis, com grande influência das rochas do embasamento. Os zircões apresentam idades nos intervalos de 3,0 Ga. e, portanto, é derivado de rochas metaígneas arqueanas, e menor idade de 578 Ma., proveniente de rochas ígneas plutônicas do Ciclo Brasileiro. Na Formação Suape, os índices RZ indicam mudanças de áreas fontes. Os minerais pesados encontrados estão provavelmente relacionados a granitos e pegmatitos do Neoproterozoico. A idade máxima dos zircões chegou a 2,5 Ga. indicando também fontes relacionadas às rochas metamórficas gnaisses e xistos (Complexo Belém do São Francisco); e idade mínima de 503 Ma. A Formação Paraíso é notável por sua diversidade mineralógica, com alto índice de ZRT. Seus zircões apresentaram idades no intervalo 1,8 Ga. com contribuições de rochas mesoproterozoicas e de 480 Ma., este último referente ao ciclo pós-orogênico brasileiro, com transição para um novo regime extensional. Na Formação Barreiras, o índice ZRT também apresenta valores elevados. Os minerais foram provavelmente derivados de rochas graníticas neoproterozoicas e gnaisses paleoproterozoicas. Os grãos de zircão possuem idades no intervalo de 1,9 Ga. a 600 Ma., este último atribuído aos estágios finais do granitóides plutônicos.

Palavras-chave: Minerais pesados. Proveniência. Bacia sedimentar de Pernambuco.

Abstract

The Pernambuco sedimentary basin is located within the Borborema Province, in northeastern Brazil. The formations of interest for this work are the Cabo, Suape and Paraíso. The Barreiras Formation was later incorporated into this work to better understand the evolution of sedimentary deposits in the Pernambuco Basin. The project focused on an investigation of the fractions of heavy minerals and radiometric ages of detrital zircon in representative samples of these formations. The heavy minerals were identified optically and with a scanning electron microscope with wavelength and energy dispersion spectrometry (WDS and EDS). Morphological analyses and the internal zonation of the zircon grains were assessed using scanning electron microscopy with a cathodoluminescence detector (SEM-CL). In addition, the age of the zircon was obtained by analyzing for U and Pb using laser-ablation inductively coupled plasma – mass spectrometry (U-Pb, LA-ICP-MS). The minerals were separated according to mean frequency and mode of occurrence at the source (igneous and metamorphic), were established for the highly stable minerals (ZRT), rutile + zircon (RZ), and stable minerals (SM). The following are the major minerals found: magnetite (30–60%), ilmenite (15–40%), muscovite (10–26%), zircon (5–20%) and tourmaline (5–15%). Biotite (2–5%) and garnet (2–5%) are less plentiful, and the following are scarcer: monazite (2–3%), rutile (4%), spodumene (2%) and kyanite (2%). The Cabo Formation contains high levels of stable minerals, with a major influence of rocks of the basement. The zircon has ages close to 3,0 Ga, and thus is derived from Archean metaigneous rocks, and less than 578 Ma, derived from the plutonic igneous rocks of the Brazilian cycle. In the Suape Formation, values of the RZ index indicate changes in the source areas; the heavy minerals are probably related the Neoproterozoic granitic rocks. The zircon ages, up to 2,5 Ga, indicate a source related the metamorphic basement rocks (Belém São Francisco complex); the minimum age is 503 Ma. The Paraíso Formation is notably different in its mineralogical diversity, with a high ZRT index. Its zircon fraction gives ages in the interval 1,8 Ga with contributions of mesoproterozoic rocks, and 480 Ma the latter referring to the Brazilian post-orogenic cycle, with transition to a new extensional regime. In the Barreiras Formation, the ZRT index also shows high values. The minerals were probably derived from the Neoproterozoic granitic sources and Paleoproterozoic gneiss. The zircon grains have a range in age from 1,9 Ga to 600 Ma, the latter attributed to end-stage granitic plutons.

Keywords: Heavy minerals. Provenance. Pernambuco Sedimentary Basin.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01.** Mapa esquemático da bacia de Pernambuco. A partir de Correia, (2015).....23
- Figura 02.** Localização da Província da Borborema com os principais domínios e terrenos (Van Schmus *et al.*, 2008).....29
- Figura 03.** Carta Estratigráfica da Bacia de Pernambuco, adaptado de Correia *et al.*,(2015).....31
- Figura 04.** Mapa de localização dos pontos na Bacia de Pernambuco, Formação Cabo (PPE-01, PPE-02, PPE-03, PPE-04, PPE-05, PPE-06, PPE-07). Formação Suape, (PPE-8, PPE-9, PPE-10, PPE-11, PPE-12, PPE-13, PPE-14, PPE-15, PPE-16, PPE-17, PPE-18, PPE-19). Formação Paraíso, (PPE-20). Formação Barreiras (PPE-21 e PPE-22), adaptado de Correia (2015).36
- Figura 05.** Etapas de preparação dos zircões detríticos para análise da estrutura interna e datação. Montagem dos grãos em resina epóxi (A); grãos já montados e aguardando secagem por 24 horas (B); grãos sendo polidos em pasta diamantada (C).....38
- Figura 06.** Imagem do MEV acoplado a catodoluminescência, equipamento utilizado para análises das estruturas internas dos zircões.....39
- Figura 07.** Distribuição dos pontos na Bacia de Pernambuco, Formação Cabo em destaque (PPE-01, PPE-02, PPE-03, PPE-04, PPE-05, PPE-06, PPE-07). Formação Suape, (PPE-8, PPE-9, PPE-10, PPE-11, PPE-12, PPE-13, PPE-14, PPE-15, PPE-16, PPE-17, PPE-18, PPE-19). Formação Paraíso, (PPE-20). Formação Barreiras (PPE-21 e PPE-22), adaptado de Correia, (2015).....42
- Figura 08.** Afloramento PPE-01; contato dos conglomerados da Formação Cabo com rocha vulcanoclástica (tufo), (A); dique de riolito cortando o conglomerado da Formação Cabo (seta vermelha), (B); dique de riolito, cortando a camada de tufo (C)43
- Figura 09.** Visão geral do afloramento PPE-02, da Formação Cabo; contendo conglomerados polímiticos, de até 1 m de diâmetro (seta vermelha).....44
- Figura 10.** Visão geral do afloramento PPE-03 da Formação Cabo, onde se observa um dique de traquito da SMI (seta vermelha), cortando os arenitos (A); e perfil estratigráfico (B).....45
- Figura 11.** Visão geral do afloramento PPE-04 da Formação Cabo; corresponde a parte distal de um leque aluvial (A); detalhe de arenitos de coloração branco e alaranjado; intercalados com folhelhos cinza-esverdeado (seta vermelha), (B).....46

Figura 12. Afloramento do conglomerado da Formação Cabo (Afloramento PPE-05), (A); detalhe do conglomerado com clastos arredondados (setas vermelhas) inclusos na matriz areno-argilosa (B).....	47
Figura 13. Conglomerado clasto suportado da Formação Cabo (afloramento PPE-06).....	48
Figura 14. Detalhe do conglomerado com clastos imersos em uma matriz arenosa da Formação Cabo (afloramento PPE-07).....	49
Figura 15. Distribuição dos pontos na Bacia de Pernambuco, Formação Suape em destaque (PPE-8, PPE-9, PPE-10, PPE-11, PPE-12, PPE-13, PPE-14, PPE-15, PPE-16, PPE-17, PPE-18, PPE-19) adaptado de Correia <i>et al.</i> , (2015).....	53
Figura 16. Visão geral do afloramento PPE-08 da Formação Suape, constituído por arenitos e siltitos na base, e no topo derrames de rochas ígneas, em uma matriz tufácea mosqueada (seta vermelha), (A); e perfil estratigráfico (B).....	51
Figura 17. Vista geral dos sedimentos da Formação Suape capeados por traquitos (Afloramento PPE-09), (A); perfil estratigráfico (B); e detalhe do arenito com intraclastos de riolito (setas vermelhas), (C).....	52
Figura 18. Afloramento PPE-10 da Formação Suape, formado por um arenito médio, branco a mosqueado, intercalado com lâminas de argilitos avermelhados (seta vermelha),(A); contendo clastos esbranquiçados de provável origem vulcânica (seta vermelha), (B).....	53
Figura 19. Visão geral do afloramento PPE-11 da Formação Suape, com intercalação de arenitos e siltitos (A); e perfil estratigráfico, adaptado de Maia, (2012),(B).....	55
Figura 20. Visão geral do afloramento PPE-12 da Formação Suape formado por arenitos intercalados com argilitos (A); e perfil estratigráfico (B).....	56
Figura 21. Imagem do afloramento PPE-13 da Formação Suape (A); perfil estratigráfico (B); detalhe do arenito com de estratificação cruzada tabular (B).....	57
Figura 22. Visão geral do Afloramento PPE-14 da Formação Suape, Observa-se o aspecto tabular das camadas (A); e perfil estratigráfico (B).....	58
Figura 23. Visão geral do afloramento PPE-15, da Formação Suape (A); detalhe da presença de um pacote de composição fina e esbranquiçada entre os arenitos (B).....	59
Figura 24. Depósitos da Formação Suape (afloramento PPE-16), (A); detalhe do arenito com estratificação cruzada (B).....	60

Figura 25. Visão geral do afloramento PPE-17 da Formação Suape, formado por basalto na base e intercalações de arenitos e argilitos em direção ao topo (A); perfil estratigráfico (B); detalhe de presença de amígdalas esbranquiçadas no basalto (C); e detalhe de arenito de coloração vermelha arroxeadada (D).....	61
Figura 26. Imagem do afloramento (PPE-18), da Formação Suape, com presença de argilitos intercalados em pacotes de arenitos de coloração alaranjada, apresentando estratificação plano-paralela (A). Detalhe de falha na camada de argilito e de estrutura de bioturbação (seta indicando), (B).	62
Figura 27. Detalhe do afloramento PPE-19 da Formação Suape, camadas de arenito com estratificação cruzada acanalada e argilitos intercalados (A); imagem do perfil estratigráfico (B).....	63
Figura 28. Distribuição dos pontos na Bacia de Pernambuco, Formação Paraíso em destaque (PPE-20) adaptado de Correia, (2015).....	65
Figura 29. Visão geral do afloramento PPE-20, localizado na Praia de Guadalupe (A); perfil estratigráfico (B); detalhe dos arenitos com acamamento plano-paralelo (C); e laminações cruzadas cavalgantes (D).....	66
Figura 30. Distribuição dos pontos na Bacia de Pernambuco, Formação Barreiras em destaque (PPE-21 e PPE-22) adaptado de Correia, (2015).....	67
Figura 31. Detalhe do afloramento PPE-21, formado por de arenitos de granulação fina a conglomerática, arroxeados e esbranquiçados, com estratificação cruzada tabular, intercalados com níveis sílticos e argilosos (A). Seção estratigráfica do afloramento (B), adaptado de Santana (2014).....	68
Figura 32. Imagem do afloramento PPE-22, composto por intercalações de arenitos, níveis conglomeráticos e camadas de argilitos maciços (A); perfil estratigráfico (B).....	69
Figura 33. Distribuição das porcentagens de minerais pesados por amostras das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.....	70
Figura 34. Gráfico das proporções de magnetita (%), encontrada nas amostras das formações Cabo (PPE-01 até PPE-07), Suape (PPE-08 até PPE-19), Paraíso (PPE-20) e Barreiras (PPE-21 e PPE-22).....	71
Figura 35. Gráfico das proporções de ilmenita (%), encontrada nas amostras das formações Cabo (PPE-01 até PPE-07), Suape (PPE-08 até PPE-19), Paraíso (PPE-20) e Barreiras (PPE-21 e PPE-22).....	72

- Figura 36.** Minerais em grãos de ilmenita da Formação Suape (amostra PPE-16), tabulares, sem formas definidas e/ou hexagonais de coloração preto.....72
- Figura 37.** Gráfico das proporções de zircão (%), encontrada nas amostras das formações Cabo (PPE-01 à PPE-07), Suape (PPE-08 à PPE-19), Paraíso (PPE-20) e Barreiras (PPE-21 e PPE-22).....73
- Figura 38.** Distribuição das principais morfologias dos zircões nas formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras. Z1 (zircões prismáticos com terminações bipiramidais, rosa); Z2 (zircões prismáticos bipiramidais, translúcido de cor creme e marrom), Z3 (zircões prismáticos, transparentes), Z4 (zircões em formas ovóides de coloração escura) e Z5 (zircões prismáticos com terminações arredondadas).....74
- Figura 39.** Minerais em grãos de zircão da Formação Cabo (amostra PPE-01), prismáticos, apresentando coloração rosa ou transparente, e terminações bipiramidais.....74
- Figura 40.** Minerais em grãos de zircão da Formação Cabo (amostra PPE-01), prismáticos ou em prismas de coloração rosa, creme ou marrom, com terminações bipiramidais.....75
- Figura 41.** Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo. Grão prismático, com terminações bipiramidais (seta vermelha).....75
- Figura 42.** Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo. Grão prismático, com terminação arredondada (seta vermelha).....76
- Figura 43.** Minerais em grãos de zircão da Formação Cabo (amostra PPE-01), em prisma, com brilho intenso de coloração rosa.....76
- Figura 44.** Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo. Grão em prisma, com terminação arredondada (seta vermelha).....77
- Figura 45.** Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo; detalhe de fratura conchoidal (seta vermelha).....77
- Figura 46.** Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo. Grão em prisma com terminações bipiramidais (seta vermelha).....78
- Figura 47.** Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo, em detalhe superfície com desgaste químico, aspecto de dissolução (seta vermelha).....78
- Figura 48.** Espectrograma por WDS de zircão da Formação Cabo (amostra PPE-01), detectado Hf, U e Th.....79
- Figura 49.** Minerais em grãos de zircão da Formação Suape (amostra PPE-08C), prismáticos/aciculares de coloração rosa transparente, e com terminações bipiramidais.....80

Figura 50. Imagem do MEV de zircões prismáticos da Formação Suape.....	80
Figura 51. Imagem do MEV de zircão da Formação Suape, detalhe de estrutura cavernosa, indicativo de ataque químico.....	81
Figura 52. Espectrograma por WDS de zircão da Formação Suape (amostra PPE-08), apresentando picos mais baixos de Hf e presença de U e Th, em sua composição.....	81
Figura 53. Minerais em grãos de zircão da Formação Paraíso (amostra PPE-20), de coloração rosa prismático, com terminações bipiramidais desgastadas.....	82
Figura 54. Imagem do MEV de zircão da Formação Suape, detalhe de estrutura cavernosa, indicativo de ataque químico.....	82
Figura 55. Minerais em grãos de zircão da Formação Paraíso (amostra PPE-20), de coloração rosa em prismas, com terminações arredondadas.....	83
Figura 56. Imagem do MEV de zircão da Formação Paraíso, detalhe da superfície de aspecto polido e uma das terminações ainda marcada por uma face da antiga pirâmide (seta vermelha).....	83
Figura 57. Minerais em grãos de zircão da Formação Barreiras (amostra PPE-21) de coloração rosa, prismáticos e de cor marrom e creme em prismas.....	84
Figura 58. Gráfico das proporções de turmalina (%), encontradas nas amostras das formações Suape (PPE-08, PPE-09, PPE-10, PPE-11 e PPE-16), Paraíso (PPE-20).....	85
Figura 59. Minerais em grãos de turmalina da Formação Suape (amostra PPE-8A), de coloração marrom e hábito prismático.....	85
Figura 60. Imagem do MEV de turmalina da Formação Suape (amostra PPE-08A), grão prismático, apresentando estrias transversais, sulcos superficiais (seta vermelha), e terminações desgastadas.....	86
Figura 61. Imagem do MEV de turmalina da Formação Paraíso, em prisma, com arestas desgastadas, aspecto serrilhado (seta vermelha).....	86
Figura 62. Gráfico das proporções de rutilo (%), encontradas nas amostras das formações Suape (PPE08, PPE-12, PPE-13 e PPE-16), Paraíso (PPE-20) e Barreiras (PPE-21 e PPE-22).....	87
Figura 63. Minerais em grãos de rutilo da Formação Paraíso, de coloração vermelho ou preto e brilho metálico, hábito prismático, com alguns dos grãos apresentando terminações arredondadas.....	88
Figura 64. Imagem do MEV de rutilo da Formação Suape, prismático com terminações arredondadas.....	88

Figura 65. Imagem do MEV de rutilo da Formação Suape, detalhe de estrias e sucros transversais, originadas por desgaste físico (seta vermelha).....	89
Figura 66. Imagem do MEV de rutilo da Formação Paraíso, grãos tabulares, com clivagem a 90°.....	89
Figura 67. Imagem do MEV de rutilo da Formação Paraíso, detalhe de clivagem à 90 graus e superfícies fraturadas (seta vermelha).....	90
Figura 68. Imagem de espectrograma por WDS de rutilo da Formação Suape e identificação de traços de U.....	90
Figura 69. Gráfico das proporções de monazita (%), encontradas nas amostras da Formação Cabo (PPE-01, PPE-02, PPE-03, PPE-04, PPE-05, PPE-06 e PPE- 07).....	91
Figura 70. Minerais em Grãos de monazita da Formação Cabo (amostra PPE-02), sem formas definidas ou em prismas de coloração verde-amarelados.....	91
Figura 71. Imagem do MEV de grãos de monazita da Formação Cabo, apresentando formas desgastadas.....	92
Figura 72. Gráfico da proporção de espodumênio (%), encontrado nas amostras da Formação Paraíso (PPE-20).....	93
Figura 73. Minerais em grãos de espodumênio da Formação Paraíso, de coloração branco ou creme.....	93
Figura 74. Imagem do MEV de grão de espodumênio da Formação Paraíso, com presença de clivagem a 90° em cada extremidade o que sugere intenso desgaste físico.....	94
Figura 75. Imagem do MEV de espodumênio da Formação Paraíso, detalhe das estrias transversais, característica comum dos grãos.....	94
Figura 76. Gráfico das proporções de muscovita (%), encontrada nas amostras da Formação Cabo (PPE-01, PPE-02, PPE-03, PPE-04, PPE-05, PPE-06 e PPE-07).....	95
Figura 77. Minerais em grãos de muscovita da Formação Cabo (amostra PPE-01), lamelares de coloração esverdeado e/ou dourado.....	96
Figura 78. Minerais em grãos de muscovita da Formação Cabo Distal (amostra PPE-03), lamelares de coloração branco e cinza.....	96
Figura 79. Gráfico das proporções de granada (%), encontradas nas amostras das formações Cabo (PPE-01, PPE-03, PPE-05, PPE-05 e PPE-07) Suape (PPE-16) e Paraíso (PPE-20).....	97

Figura 80. Minerais em grãos de granada da Formação Cabo (amostra PPE-04), de coloração vermelho e brilho intenso.....	98
Figura 81. Imagem do MEV de grãos de Granada da Formação Cabo (amostra PPE-04), apresentando forma arredondada e aspectos de dissolução (seta vermelha).....	98
Figura 82. Imagem do MEV de grão de granada da Formação Paraíso, com faces ainda preservadas, e forma antiga dodecaedra (seta vermelha), e fratura subconchoidal.....	99
Figura 83. Imagem de espectrograma por WDS de granada da Formação Cabo, detectado Fe.....	99
Figura 84. Gráfico das proporções de biotita (%), encontradas nas amostras da Formação Cabo (PPE-02, PPE-03, PPE-06 e PPE-07).....	100
Figura 85. Minerais em grãos de Biotitas da Formação Cabo (amostra PPE-02), sem formas definidas e lamelares de coloração dourado e brilho metálico.....	100
Figura 86. Gráfico das proporções de cianita (%), encontradas nas amostras da Formação Paraíso (PPE-20)	101
Figura 87. Minerais em grãos de cianita da Formação Paraíso, tabulares transparentes, contendo inclusões de ilmenita e aspecto oxidado em algumas partes dos grãos.....	101
Figura 88. Imagem do MEV dos grãos de cianita, prismático com estrias transversais.....	102
Figura 89. Gráfico de comparação das proporções de minerais estáveis não micáceos (MET), nos arenitos das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.....	103
Figura 90. Gráfico do índice ZTR, zircão-turmalina-rutilo (minerais ultra-estáveis) (%), nas amostras das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.....	103
Figura 91. Gráfico do índice RZ, rutilo+zircão (%), nas amostras das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.....	104
Figura 92. Gráfico dos índices ZRT (minerais ultra-estáveis), RZ (rutilo+zircão), e MET (minerais Ultra-estáveis)(%), nas amostras das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.....	104
Figura 93. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Cabo (amostra PPE-01), apresentando concentrações elevadas no intervalo de 700-500Ma.....	105

- Figura 94.** Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Cabo (amostra PPE-01), com idades até 700 Ma., e menores valores entre 2,0–1,5 Ga. e 2,8-2,5 Ga.....106
- Figura 95.** Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos do ponto PPE-03 da Formação cabo, com idades concordantes de 3,0-1,4 Ga.....106
- Figura 96.** Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Cabo (amostra PPE-03), apresentando picos elevados no intervalo de 600 Ma., e chegando a idade máxima de 3,0 Ga.....107
- Figura 97.** Imagens da estrutura interna de zircões da Formação Cabo. Grãos com cristalização gradual, com diferenças de idade mais antiga em torno 1,4 Ga. a 1,0 Ga. (A); prismático com centro nebulítico, com idade de 1,8 Ga. e zoneamento mais claro, evidenciando uma nova fase de cristalização 786 Ma., nas bordas (B); grão com terminações arredondadas e centro apresentando zona de absorção (C); prismático com duas fases de cristalização (D).....109
- Figura 98.** Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-08A), apresentando idades de 2,5 Ga.- 600 Ma.....110
- Figura 99.** Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-08A), com picos elevados de 592 Ma.....110
- Figura 100.** Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-08B), com maiores concentrações no intervalo de 1,6 Ga. a 600 Ma.....111
- Figura 101.** Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (afloramento PPE-08B), apresentando pico elevado em 2,0 Ga.....111
- Figura 102.** Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-09), apresentando concentrações de idades no intervalo de 1,8-1,4 Ga.....112
- Figura 103.** Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-09), indicando idade mínima de 646 Ma. e idade máxima de 2,2 Ga.....112
- Figura 104.** Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-11), com idades no intervalo de 600 Ma. e 1,8-1,4 Ga.....113
- Figura 105.** Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-11), de idade mínima no intervalo de 500 Ma. e 2,5 Ga de idade máxima.....113

Figura 106. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-13), com idades no intervalo de 620-580 Ma.....	114
Figura 107. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-13), com picos elevados em 616 Ma. e mais baixos em 772 Ma.....	114
Figura 108. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-14), com idades no intervalo de 620-580 Ma.....	115
Figura 109. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-14), com picos elevados em 610 Ma. e menores em 900 Ma.....	115
Figura 110. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-16), com idades até 1,1 Ga.....	116
Figura 111. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-16), com idades concentradas em 1,8 Ga.....	116
Figura 112. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-18), apresentando intervalo entre 1,6 Ga. e 600 Ma.....	117
Figura 113. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-18), com picos elevados em 1,6 Ga.....	117
Figura 114. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-19), com idades entre 2,6 Ga. a 600 Ma.....	118
Figura 115. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-19), com picos elevados em 630 Ma. e menores em 867 Ma. e 2,0 Ga.....	118
Figura 116. Imagens da estrutura interna de grãos de zircão da Formação Suape, prismático com centro escuro evidenciando zona de absorção, com idade mais antiga de cristalização de 1,9 Ga. e mais nova 1,4 Ga. (A); prismático fraturado e núcleo caótico, com diversas fases de crescimento do centro até as bordas (B), (amostra PPE-11), grão acicular, não apresenta fase de crescimento, com idade de 534 Ma. (C); prismático com centro nebulítico em todo prisma e crescimento tênue nas pirâmides (D), (amostras PPE-13).....	120
Figura 117. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Paraíso (amostra PPE-20), apresentando intervalo de 1,8 Ga. e 600 Ma.....	121

- Figura 118.** Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Paraíso (amostra PPE-20), com picos elevados em 1,8 Ga.....121
- Figura 119.** Gráfico indicando menor idade para o grão de zircão pertencente à Formação Paraíso de 480 Ma.....122
- Figura 120.** Imagens da estrutura interna de grãos de zircão da Formação Paraíso (amostra PPE-20), mineral com núcleo pouco individualizado (A); mineral com estrutura difusa, apresentando idade de 1,8 Ga. (B); Com centro nebulítico em todo o prisma com idade de 1,7 Ga. e desenvolvimento de fases de crescimento nas pirâmides com idade de 1,6 Ga. (C); grão com cristalização magmática, tênue e gradual com idade de cristalização 1,5 Ga. e mais nova 948 Ma.(D).....123
- Figura 121.** Curva de Concórdia da Formação Barreiras (amostra PPE-21), apresentando intervalo de 2,2 Ga. a 500 Ma.....124
- Figura 122.** Gráfico de probabilidade relativa da Formação Barreiras (amostra PPE-21), com picos elevados em 697 Ma. e mais baixos em 1,9 Ga.....124
- Figura 123.** Curva de Concórdia da Formação Barreiras (amostra PPE-22) da Formação Barreiras, com idades no intervalo de 700-550 Ma.....125
- Figura 124.** Gráfico de probabilidade relativa da Formação Barreiras (amostra PPE-22), com pico elevado em 700 Ma.....125
- Figura 125.** Mapa esquemático representativo das datações dos zircões detríticos amostras da Formação Cabo (PPE-01 e PPE-03), de idade arqueana. Formação Suape (PPE-08, PPE-09, PPE-11, PPE-16, PPE-18, PPE-19) de idade paleoproterozoicas, e (PPE-13 e PPE-14) de idade neoproterozoicas. Formação Paraíso (PPE-20), de idade paleoproterozoicas e Formação Barreiras (PPE-21 e PPE-22), de idade paleoproterozoicas (A); e das assembléias de minerais pesados (B). Adaptado de Correia, (2015).....126

LISTAS DE TABELAS

Tabela 01. Tabela de Minerais Pesados típicos para certos tipos de Rocha, (Mabesoone, 1983).....	25
Tabela 02. Tabela litotipos versus associações minerais, (Pereira et al, 2005).....	26
Tabela 03. Distribuição dos pontos e coordenadas geográficas.....	42
Tabela 04. Frequência dos minerais encontrados nas amostras das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.....	70
Tabela 05. Descrição da estrutura interna dos zircões da Formação Cabo e análise das fases de cristalização por MEV- CL.....	108
Tabela 06. Descrição da estrutura interna dos zircões da Formação Suape e análise das fases de cristalização por MEV- CL.....	119
Tabela 07. Descrição da estrutura interna dos zircões da Formação Paraíso e análise das fases de cristalização por MEV- CL.....	122

SUMÁRIO

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Objetivo Geral.....	21
1.2 Objetivos Específicos.....	22
1.3 Justificativa.....	22
1.4 Localização.....	22

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA SOBRE MINERAIS PESADOS E ESTUDOS DE PROVENIÊNCIA.....	24
2.1 Caracterização dos Minerais Pesados.....	24

CAPÍTULO 3

CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA.....	28
3.1 Geologia Regional.....	28
3.1.1 Província da Borborema.....	28
3.1.2 Domínio Pernambuco-Alagoas.....	28
3.1.3 Evolução Sedimentar e Estratigráfica da Bacia de Pernambuco....	30
3.1.3.1 Formação Cabo.....	30
3.1.3.2 Formação Suape.....	31
3.1.3.3 Formação Paraíso.....	32
3.1.3.4 Suíte Magmática Ipojuca (SMI).....	33
3.1.3.5 Formação Estiva.....	33
3.1.3.6 Formação Barreiras.....	33
3.1.3.8 Coberturas Quaternárias.....	34

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
4.1 Consultas Bibliográficas.....	35
4.2 Trabalhos de Campo.....	35
4.3 Trabalhos de Laboratório.....	37

4.3.1	Preparação de amostras, e descrição dos minerais pesados.....	37
4.3.2	Caracterização química por microanálise pontual por MEV-WDS...	37
4.3.3	Datação U-Pb em zircão detrítico e obtenção de dados geocronológicos para auxílio na proveniência do material sedimentar das formações investigadas.....	37

CAPÍTULO 5

RESULTADOS.....	40
5.1 Aspectos Sedimentológicos.....	40
5.1.1 Formação Cabo.....	40
5.1.2 Formação Suape.....	49
5.1.3 Formação Paraíso.....	64
5.1.4 Formação Barreiras.....	64
5.2 Estudo das Associações dos Minerais Pesados e Estudo de Proveniência.....	70
5.2.1 Associação ígnea.....	71
5.2.1.1 Magnetita.....	71
5.2.1.2 Ilmenita	71
5.2.1.3 Zircão	73
5.2.1.4 Turmalina	84
5.2.1.5 Rutilo.....	87
5.2.1.6 Monazita.....	90
5.2.1.7 Espodumênio.....	92
5.2.2 Associação Metamórfica.....	95
5.2.2.1 Muscovita	95
5.2.2.2 Granada.....	97
5.2.2.3 Biotita.....	99
5.2.2.4 Cianita.....	101
5.3 Análise dos índices Σ MET (soma dos estáveis), ZRT (minerais ultra estáveis), RuZi (rutilo-zircão).....	102
5.4 Análise da Estrutura Interna e datação em zircões.....	105

CAPÍTULO 6	
DISCUSSÕES.....	127
CAPÍTULO 7	
CONCLUSÕES.....	132
REFERÊNCIAS.....	137
ANEXOS.....	143

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

A bacia de Pernambuco está localizada na porção oriental do Nordeste do Brasil, na borda leste da Província Borborema. Apresenta em seu arcabouço, uma sucessão de rochas siliciclásticas e carbonáticas, além de rochas vulcânicas que compõem a Suíte Magmática Ipojuca. A presente pesquisa abrange as formações Cabo de idade Aptiana, Suape de idade meso-albiana, Paraíso de idade eo-Albiana e Barreiras de idade oligo-miocênica.

As formações sedimentares (Cabo, Suape e Paraíso) eram atribuídas a uma única unidade fluvial continental, conhecida como Formação Cabo que foi originalmente definida por Oliveira e Leonardo (1943) e por (Alheiros, 1987; Nóbrega, 1995; Lima Filho, 1998). Como resultado de um grande reavaliação da sequência sedimentar por Barbosa *et al.*, (2009), Maia *et al.*, (2011), Maia, (2012), a Formação Cabo foi redefinida, em duas novas formações: Suape e Paraíso.

A presente pesquisa desenvolveu uma investigação dos minerais pesados de amostras presente nas quatro formações. A análise de composição e proveniência também inclui a obtenção de dados de datação U e Pb, em zircões detríticos.

Assim o estudo e caracterização das associações dos minerais pesados das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras, geram informações sobre a proveniência sedimentar dos depósitos de forma a estabelecer uma melhor compreensão da composição e origem destas formações.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo, o estudo da proveniência dos sedimentos, das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras através do uso das associações dos minerais pesados, como critério distintivo além das datações em zircões detríticos, com base no método U-Pb, das referidas formações.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma caracterização física e química dos minerais pesados das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras;
- Analisar através das datações em zircões detríticos a idade das rochas fonte dos depósitos clásticos.
- Reconstituir as relações existentes entre áreas-fontes dos sedimentos das formações investigadas e as fases tectono-estratigráficas.

1.3 Justificativa

O estudo é importante para análise das prováveis rochas fontes que constituíram esses depósitos, além de contribuir para uma melhor definição das unidades com base no conhecimento de sua evolução sedimentar.

1.4 Localização

A Bacia de Pernambuco é uma bacia marginal atlântica, e está inserida na Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977), na porção oriental do Nordeste do Brasil (Figura 01). A zona emersa da bacia possui uma área de aproximadamente 900 km² e localiza-se, na faixa costeira sul do Estado de Pernambuco, limitada a norte pelo ramo leste da Zona de Cisalhamento Pernambuco (ZCPE), (Rand & Mabesoone, 1982) próximo à cidade de Recife, e a sul pelo Alto de Maragogi, no município de São José da Coroa Grande. Sua faixa costeira apresenta forma alongada, com uma extensão de cerca de 80 km.

Na sua porção submersa, a bacia se estende para leste através do Platô de Pernambuco, que representa uma feição desenvolvida sobre crosta continental estirada com aproximadamente 130 a 150 km de extensão (Alves e Costa, 1986; Lima Filho, 1998; Barbosa e Lima Filho, 2006, Buarque *et al.*, 2016).

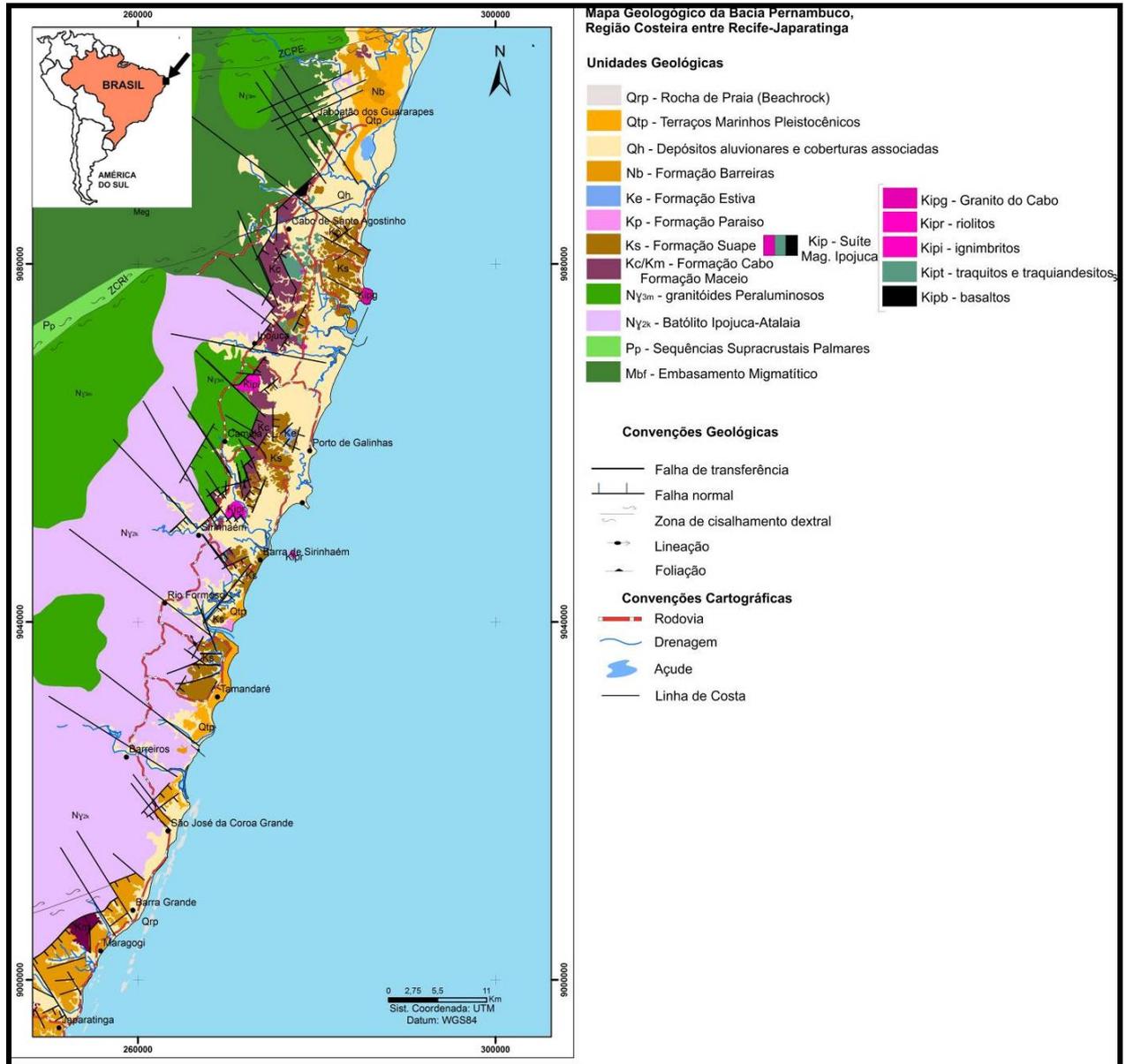


Figura 01. Mapa esquemático da bacia de Pernambuco. A partir de Correia *et al.*, (2015).

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA SOBRE MINERAIS PESADOS E ESTUDOS DE PROVENIÊNCIA

2.1 - Caracterização dos Minerais Pesados

Os minerais pesados são assim denominados em razão de sua maior densidade em relação aos minerais comuns, seus pesos específicos são maiores que $2,85 \text{ g/cm}^3$ e formam, em geral, constituintes menores ou minerais acessórios das rochas. E são reconhecidos em dois grupos (Dias, 2004): os opacos e os transparentes; os opacos são principalmente óxidos e sulfuretos, que normalmente se integram na classe correspondente aos minérios, e os transparentes consistem predominantemente de silicatos. Oriundos de rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares, a maior parte dos minerais pesados possui paragénese específica, que fornecem importantes informações sobre tipos de rochas-fonte (Morton & Hallsworth, 1994), (Tabela 01).

Além da associação com os diferentes tipos de rochas, os minerais pesados permitem reconhecer determinados tipos de depósitos minerais, ou inferir a existência de alguns tipos rochosos bastante característicos, alguns deles, podem contribuir para interpretações sobre a proximidade da área fonte (Pereira *et. al*, 2005), (Tabela 02). A composição mineralógica dos depósitos é influenciada pelos diversos processos que atuam no ciclo sedimentar. O primeiro fator a controlar a mineralogia é a composição da área fonte, isto é, a presença ou não de um determinado mineral, o segundo fator é o intemperismo químico.

A atuação do intemperismo químico é mais significativa em áreas cujo relevo é mais suave e a tectônica é estável, principalmente quando a disponibilidade de água é alta, como acontece em climas quentes e úmidos (Johnsson, 1993; Morton e Hallsworth,1999). Após a deposição um processo comum da diagênese é a dissolução, que funciona como um controle natural da assembléia mineral, pois ela dissolve os minerais estáveis e metaestáveis parcialmente ou totalmente.

Tabela 01 - Tabela de Minerais Pesados típicos para certos tipos de Rocha, (Mabesoone, 1983).

Rochas Ígneas Ácidas	Rochas Ígneas Básicas	Pegmatitos	Sedimentos Retrabalhados	Rochas Metamórficas
Apatita	Anatásio	Casseterita	Glauconita	Anadalousita
Biotita	Augita	Fluorita	Óxidos de ferro	Granada
Hornoblenda	Broquita	Topázio	Rutilo	Hornblenda Alcalina
Monazita	Cromita	Turmalina	Turmalina	Hornblenda verde
Muscovita	Hiperstênio		Zircão (arredondado)	Cianita
Titanita	Ilmenita			Silimanita
Zircão	Leucóxênio			Estaurólita
	Olivina			
	Rutilo			

O efeito da dissolução intraestratal nos minerais, geralmente, manifesta-se através do aumento da maturidade mineralógica das assembléias (ZTR; Hubert, 1962). A ação da dissolução pode ser identificada pela presença de texturas de corrosão na superfície do grão, tais como cavidades, superfícies mamelonares, escamas superficiais, facetas, bordas irregulares, terminações serrilhadas e estrutura esquelética. A presença de várias destas feições está relacionada a diferenças na composição mineral, cristalografia e a natureza do fluido corrosivo (Morton e Hallsworth, 1999 e 2007).

Os sedimentos passam por uma história complexa envolvendo o intemperismo, erosão, transporte, deposição e soterramento nas bacias sedimentares. Diversos processos influenciam na composição final dos sedimentos, desde suas áreas-fontes até os sítios deposicionais. O conhecimento dos controles destes processos e seus efeitos na composição final dos sedimentos permitem avaliar o grau de modificação e também, identificar as fontes de proveniência em diversas situações geológicas (Johnsson *et al.*, 1991, Johnsson 1993, Morton & Hallsworth, 1999). A composição da assembléia de minerais pesados, incluindo estudos varietais e isotópicos, é o meio mais preciso e confiável de determinar as litologias das áreas-fontes dos sedimentos, e suas variações no espaço e no tempo (Morton & Hallsworth, 1994, 1999, Morton & Yaxley, 2007).

Tabela 02 – Tabela de litotipos versus associações minerais, (Pereira et al, 2005).

Rocha	Associação
Xistos e gnaisses pelíticos	Ilmenita, almandina, sillimanita, cianita, estaurolita
Calcários metamórficos	Diopsídio, espinélio
Rochas metabásicas (fácies xisto verde)	Actinolita, epidoto, hornblenda, clorita, granada
Rocha calciossilicática	Diopsídio, tremolita-actionolita, granada, scheelita
Anfibolitos	Hornoblenda, Ilmenita
Exalitos	Quartzo-dravita, quartzo-espessartita, quartzo-gahnita

A importância estratigráfica dos minerais pesados no estudo de sucessões sedimentares de ambientes continentais e transicionais são amplamente reconhecidas (Mange & Maurer, 1991 e Morton & Hallsworth, 1999). Os minerais pesados são utilizados também, para correlações estratigráficas e comparações entre depósitos siliciclásticos, especialmente quando a composição de uma rocha sedimentar depende de vários fatores inter-relacionados que influenciam em diferentes graus o produto final. Assim, notadamente, a composição da rocha-fonte que está diretamente relacionada ao ambiente tectônico, o intemperismo nas áreas-fontes, os processos intempéricos, tempo e distância de transporte, que causam seleção física e abrasão dos grãos, e finalmente os processos de diagênese que causam dissolução e alteração de faces minerais.

No entanto, as assembléias de minerais pesados não refletem somente a composição do material proveniente das áreas-fontes, outros processos podem alterar a abundância relativa dos minerais pesados durante os ciclos sedimentares. Rochas e sedimentos das áreas-fontes estão sujeitos ao intemperismo, o qual pode alterar a composição das assembléias de minerais pesados, antes da incorporação desses no sistema de transporte (Morton, 1985). Dessa forma, o regime de denudação ocasionado pelo intemperismo, no qual os processos de transporte, que removem materiais intemperizados de uma área, são potencialmente mais rápidos que os processos de intemperismo geradores do material (Johnsson *et al.*, 1991).

Em uma sucessão estratigráfica, maiores ou menores concentrações de minerais pesados podem indicar períodos de tempo nos quais os processos sedimentares ocorreram com intensidades diferentes, refletindo níveis de energia ambientais variáveis e, desta forma, se constituem uma excelente ferramenta para a reconstituição dos paleoambientes, paleoclimas e paleogeografia (Feo-Codecido, 1956; Tomazelli, 1978).

CAPÍTULO 3

CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA

3.1 - Geologia Regional

3.1.1 - Província da Borborema

A Província Borborema (Almeida *et al.*, 1976; Brito Neves, 1975), está localizada na porção nordeste da plataforma Sul Americana e foi, inicialmente, definida como uma província tectônica, constituída por maciços medianos, lineamentos e, sistemas ou faixas de dobramentos, estruturados durante a Orogênese Brasileira no final do Neoproterozoico (Van Schmus *et al.*, 2008) (Figura 02). A província Borborema é limitada ao sul pelo cráton do São Francisco, a oeste pela Bacia do Parnaíba e, a norte e a leste, pelas bacias sedimentares da margem costeira (Almeida *et al.*, 1977)

A província da Borborema foi subdividida em domínios estruturais, definindo o Domínio Médio Coreaú, Extremo Nordeste, Transnordestino ou Central, Cearense e Sergipano (Santos & Brito Neves, 1984). Com a evolução do conhecimento, as determinações geocronológicas disponíveis na época (K-Ar e Rb-Sr), alguns autores consideraram que o evento Brasileiro/Pan-africano $\cong 600$ Ma, estaria superposto aos ciclos orogênicos mais antigos, principalmente o Transamazônico, $\cong 2$ Ga., em algumas partes da província, como nos maciços (Van Schmus *et al.*, 2008). Estes autores dividiram os grandes domínios da província da Borborema em: Ceará, Médio Coreaú, Pernambuco-Alagoas (PEAL); Rio Grande do Norte (Núcleo arqueano São José do Campestre); Riacho do Pontal; Sergipano; Transversal (Terrenos: Alto Pajeú; Alto Moxotó; Rio Capibaribe; Cinturões orogênicos Cachoeirinha; Cariris Velhos). A Bacia de Pernambuco está inserida nos terrenos pré-cambrianos do Domínio Pernambuco-Alagoas (Van Schmus *et al.*, 2008).

3.1.2 - Domínio Pernambuco-Alagoas

O domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL), está limitado ao norte e ao sul por falhas de empurrão, e em grande parte é constituído por rochas embasamento gnáissico com idades que vão desde o Arqueano ao

Paleoproterozoico (Transamazônico), com granitos intrusivos do ciclo orogênico Brasileiro (Van Schmus *et al.*, 2008).

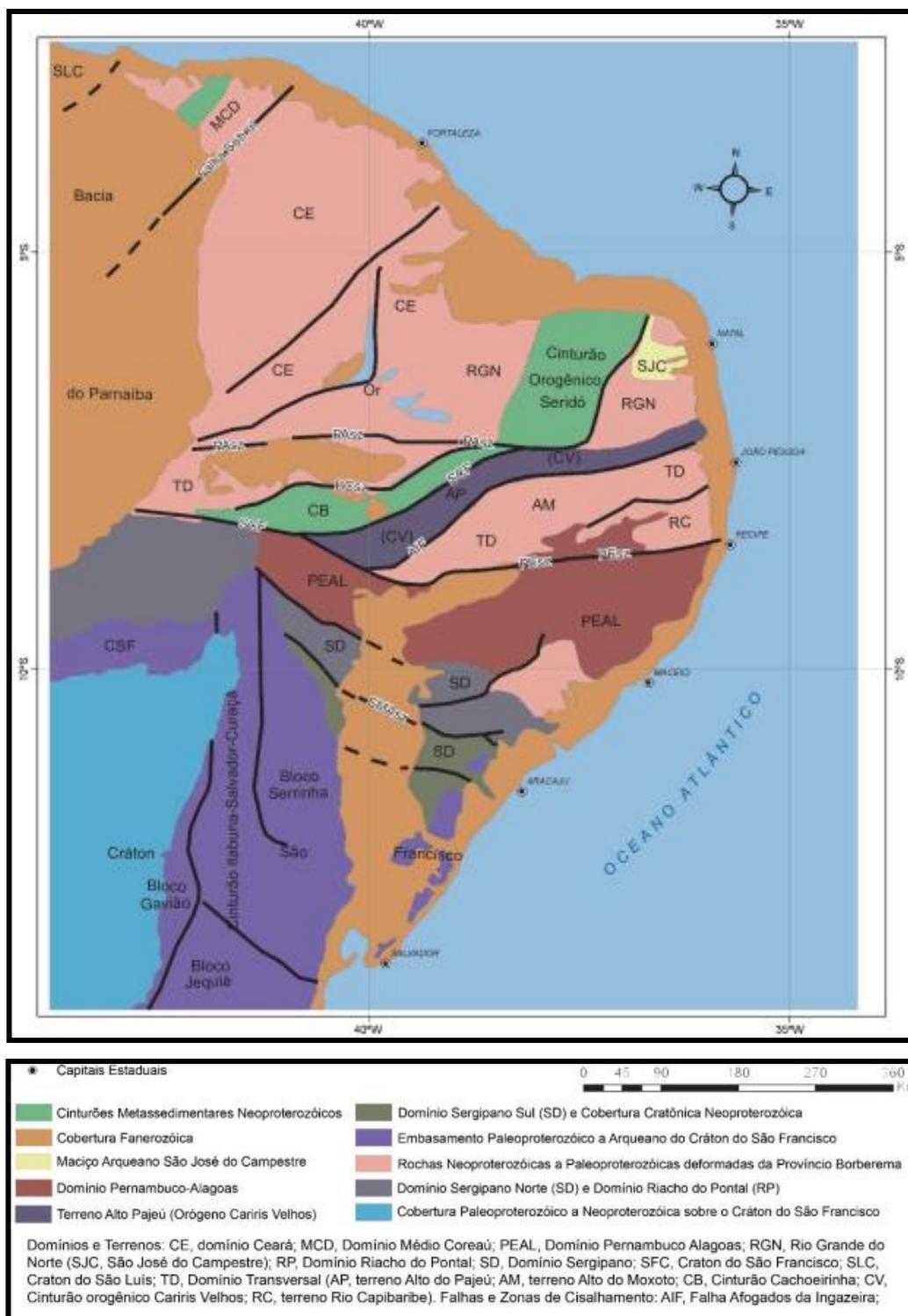


Figura 02. Localização da Província da Borborema com os principais domínios e terrenos (Van Schmus *et al.*, 2008).

3.1.3 Estratigrafia da Bacia de Pernambuco

A presente descrição da sucessão estratigráfica da Bacia de Pernambuco, teve como base a recente revisão proposta por Barbosa *et al.*, (2009) e Maia, (2012), (Figura 03). Esta proposta considera as evidências reunidas pela autora na porção emersa, e por estudos sismoestratigráficos realizados na região do Platô de Pernambuco. Neste contexto, a bacia apresenta um número maior de formações geológicas do que o que foi proposto em trabalhos anteriores; (Lima Filho, 1998 e Almeida *et al.*, 2005).

3.1.3.1 Formação Cabo

O primeiro trabalho que descreve os depósitos conglomeráticos encontrados no litoral sul do estado de Pernambuco foi realizado por Oliveira & Leonardos, (1943 apud Maia, 2012). Estudos posteriores sugeriram uma revisão para melhor a Formação Cabo, que originalmente incluíam depósitos de origem continental, que abrangem o Aptiano e o Albiano em uma única unidade estratigráfica (Lima Filho, 1998). Esta interpretação perdurou até a primeira década do século XXI (Almeida *et al.*, 2005). Trabalhos recentes como Barbosa *et al.*, (2009), sugeriram a divisão da sucessão aptiana-albiana da bacia, em pelo menos duas unidades estratigráficas tectono-sedimentares diferentes, mantendo o nome de Formação Cabo para os estratos aptianos, e sugerindo chamar o pacote de depósitos albianos de Formação Suape (Santana, 2016).

A Formação Cabo é composta por conglomerados polímiticos, associados às escarpas, geradas pelo processo de abertura da bacia, e também fácies associadas à fandeltas, que gradavam para lagos em regiões profundas dos grabens (Lima Filho, 1998). Esta unidade apresenta feições que sugerem a dominância de sistemas de leques aluviais de grande porte. Provavelmente, esses leques foram formados através do sistema de drenagem radial, responsável pelo preenchimento sedimentar da depressão formada pela bacia interna da Bacia de Pernambuco. Segundo Maia, (2012), esta unidade compõe a fase sin-rifte I da bacia.

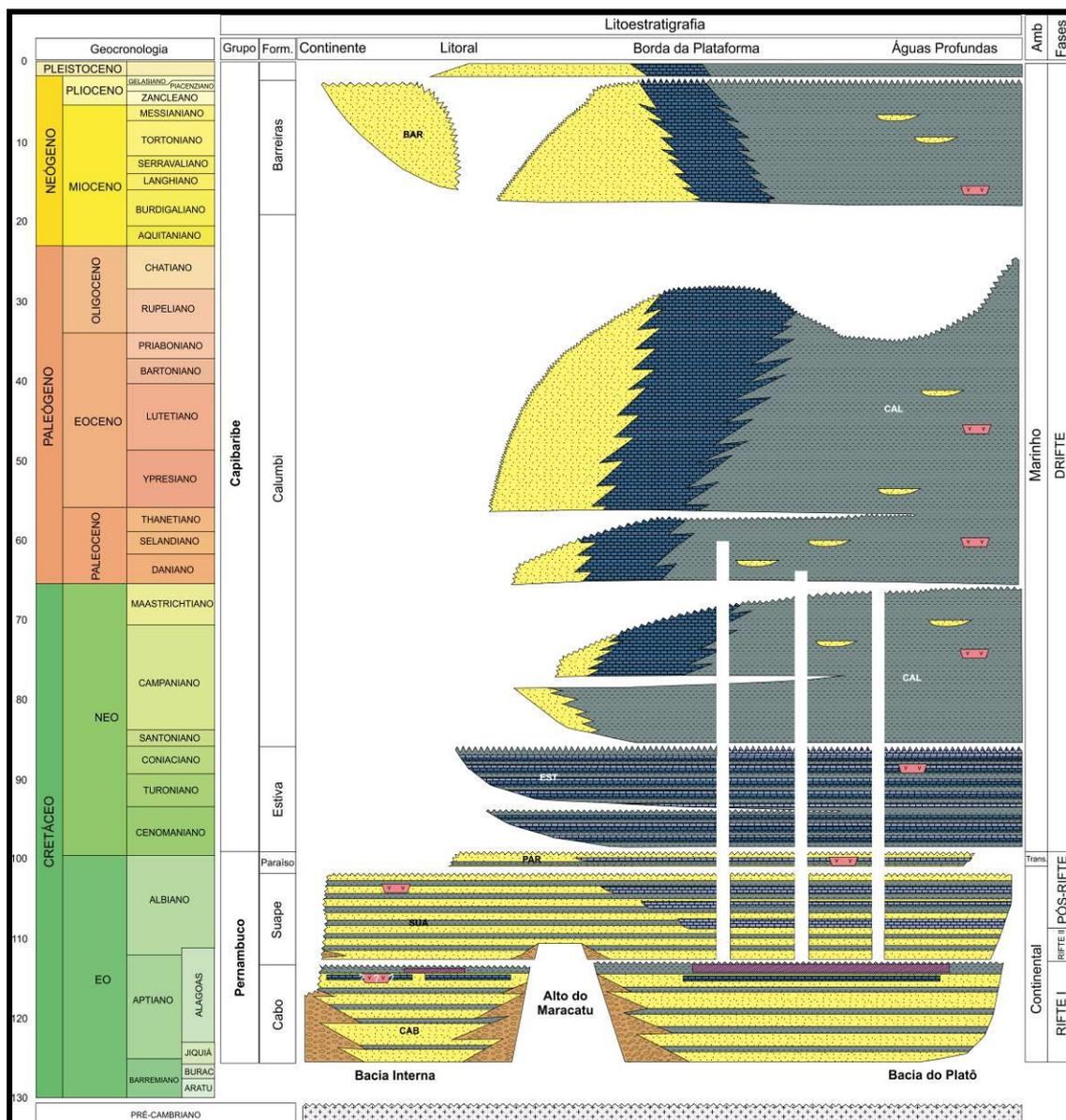


Figura 03. Carta Estratigráfica da Bacia de Pernambuco (Correia *et al.*, 2015).

3.1.3.2 Formação Suape

A Formação Suape de idade Eo a Meso-Albiana representa a segunda fase rifte da bacia, e apresenta características que sugerem um domínio de sistemas fluviais, influenciado por clima possivelmente mais úmido em comparação com a Formação Cabo (Maia *et al.*, 2012). A base da Formação Suape, ainda guarda evidências de pulsos tectônicos marcados pela presença de conglomerados, que dominaram a sedimentação da primeira fase de rifteamento (Maia, 2012). O topo dessa unidade é marcado por níveis de

retrabalhamento (depósitos sedimentares vulcanogênicos), de rochas vulcânicas pré-existentes (Santana, 2016).

A formação apresenta tendência de granodecrescência ascendente, com depósitos de arenitos finos e folhelhos formados por sistemas flúvio-lacustres na porção superior. É possível que durante a deposição da Formação Suape, na bacia interior, a drenagem tenha sofrido uma modificação, passando de radial para axial, embora a influência dos leques aluviais e da drenagem radial ainda tenha permanecido (Maia, 2012). A análise da mineralogia desta unidade indica uma maior irregularidade na distribuição de terrígenos nos corpos litológicos, o que sugere uma variação vertical maior dos depósitos, criada por mudanças no sistema deposicional (Maia, 2012).

3.1.3.3 Formação Paraíso

Os principais afloramentos da Formação Paraíso localizam-se na praia de Guadalupe, e são descritos como depósitos formados por corpos de arenitos, intercalados com camadas de folhelhos (frequentemente verdes e vermelhos), e por níveis mais finos de siltitos intercalados com arenitos, apresentando estratificações cruzadas acanaladas de médio porte (Campelo, 2004).

A revisão realizada por Maia (2012) sugeriu que os depósitos desta unidade teriam idade Neo-Albiana, possui uma influência marinha e seria a primeira unidade associada a fase drifte (Maia, 2012). A autora baseou-se na análise de linhas sísmicas e no registro do poço 2 CP, perfurado na região da praia do Cupe, e que atingiu a profundidade de 3000 m. Esta Formação apresentaria dominância de depósitos continentais, terrígenos, com alteração na composição mineralógica, e diminuição na contribuição dos feldspatos, comprovado pela análise bioestratigráfica/paleoambiental, que sugere que esta recebeu influência marinha restrita, anterior a Formação dos depósitos carbonáticos de ambiente marinho raso que caracterizam a Formação Estiva, vale ressaltar que a Formação Paraíso está separada da Formação Suape por discordância, conforme Maia, (2012) e Barbosa *et al.*, (2014).

3.1.3.4 Suíte Magmática Ipojuca (SMI)

A Suíte Magmática Ipojuca é composta por basaltos, traqui-andesitos, traquitos, riolitos, e ainda por uma ocorrência de álcali-feldspato granito, denominado Granito do Cabo de Santo Agostinho (Sial, 1976). Algumas hipóteses em relação à origem da SMI indicam que esta tenha sido gerada por alguma anomalia térmica, hot spot, ou pluma (Sial, 1976; Nascimento, 2003).

Foram registrados nas rochas da SMI pulsos magmáticos nos intervalos 102-105 Ma, definidas a partir dos métodos de $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ e traços de fissão em zircão (Nascimento, 2003).

3.1.3.5 Formação Estiva

Depósitos carbonáticos localizados na faixa costeira da Bacia de Pernambuco e que representam três pulsos distintos, o primeiro pulso transgressivo seria caracterizado por calcários cinzentos esbranquiçados, de granulometria fina, sobrepostos a arcóseos e folhelhos possivelmente pertencentes a Formação Cabo, observados sobre as rochas da Suíte Magmática de Ipojuca (Granito do Cabo) na região do Porto de Suape, o segundo ciclo é formado por carbonatos marinhos com forte influência terrígena em direção ao continente, passando de calcários margosos para calcários com siliciclastos e o último ciclo, constituído por calcários subaflorantes sobre as rochas da Suíte Magmática de Ipojuca, sendo limitados no topo por uma superfície de erosão, designada como Pré-Barreiras e Pré-Algodoais (Lima (Filho, 1998 e Cruz, 2002).

3.1.3.6 Formação Barreiras

Amplamente reconhecida em falésias e em corte de estrada, com até 30m de espessura, do nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, a Formação Barreiras (Mioceno: Arai *et al.*, 1988). É caracterizada pela presença de fácies típicas de um sistema fluvial entrelaçado e de fácies transicionais para leques aluviais. A primeira delas é composta por depósitos de granulação variada,

apresentando cascalhos e areias grossas a finas, de composição feldspática e coloração creme-amarelada, com intercalações de microclastos de argila e silte.

São observadas estratificações cruzadas acanaladas de grande, médio e pequeno portes, de médio e baixo ângulo, com conjuntos granodecrescentes ascendentes, iniciados por cascalhos quartzo-feldspáticos e seixos de argila. Nesses depósitos, é comum encontrar a intercalação de barras fluviais, longitudinais, com até um metro de espessura, apresentando estratificação cruzada planar de forte ângulo, indicando alta descarga de um sistema fluvial em canais confinados, que migram formando as barras. Alheiros e Lima Filho, (1991) propuseram que esta formação representa a evolução de um sistema fluvial, construído em fortes gradientes e sob clima predominantemente árido, sujeito a oscilações.

3.1.3.7 Coberturas Quaternárias

São classificados como sedimentos terrígenos de granulação média, de coloração branca ou castanha, Lima Filho, (1998). Estes depósitos ocorrem de forma descontínua, ao longo de toda planície costeira. Rocha, (1990) identificou coberturas eluviais, em cotas que variam de 150 e 200m, no interior do continente, formadas por sedimentos arenosos de granulação média a grossa, mal selecionada e, por vezes, lateritizados, além de extensas planícies aluviais e sedimentos costeiros holocênicos.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E METÓDOS

4.1 Consultas Bibliográficas

Foram feitas consultas bibliográficas sobre a Bacia de Pernambuco, e estudos detalhados dos minerais pesados; além de consultas sobre análises geocronológicas, utilizando os métodos U-Pb, e da literatura sobre a técnica analítica LA-MC-ICP-MS, e suas aplicações.

4.2 Trabalhos de Campo

Foram realizadas coletas de amostras das formações investigadas nas áreas aflorantes, definidas por Maia, (2012). Correspondendo a um total de 22 afloramentos. Em cada ponto, foram retirados dois sacos de amostras, contendo em média 4 quilos cada, posteriormente o material foi bateado para concentração dos minerais pesados. Na Formação Cabo, foram retiradas amostras da matriz dos conglomerados, correspondentes às partes proximais de depósitos de sistemas aluviais, representadas por arenitos de granulação grossa, (PPE-01, PPE-02, PPE-05, PPE-06, PPE-07), e de granulação média/fina, correspondente as partes distais, (PPE-03 e PPE-04), em um total de 7 afloramentos. As amostras da Formação Suape, foram coletadas em 12 afloramentos, formados por arenitos de granulação média/grossa, (PPE-08, PPE-09, PPE-10, PPE-11, PPE-12, PPE-13, PPE-14, PPE-15, PPE-16, PPE-17, PPE-18, PPE-19). Foram coletados ainda, 2 amostras de siltitos,(PPE-8A, PPE-9), e duas amostras de argilitos (PPE-8B e PPE-12). Na Formação Paraíso, foram coletadas amostras em apenas um afloramento (PPE-20), onde é reconhecido em área aflorante. Para a Formação Barreiras, foram coletadas amostras em dois afloramentos formados por arenitos e siltitos, (PPE-21 e PPE-22) (Figura 04).

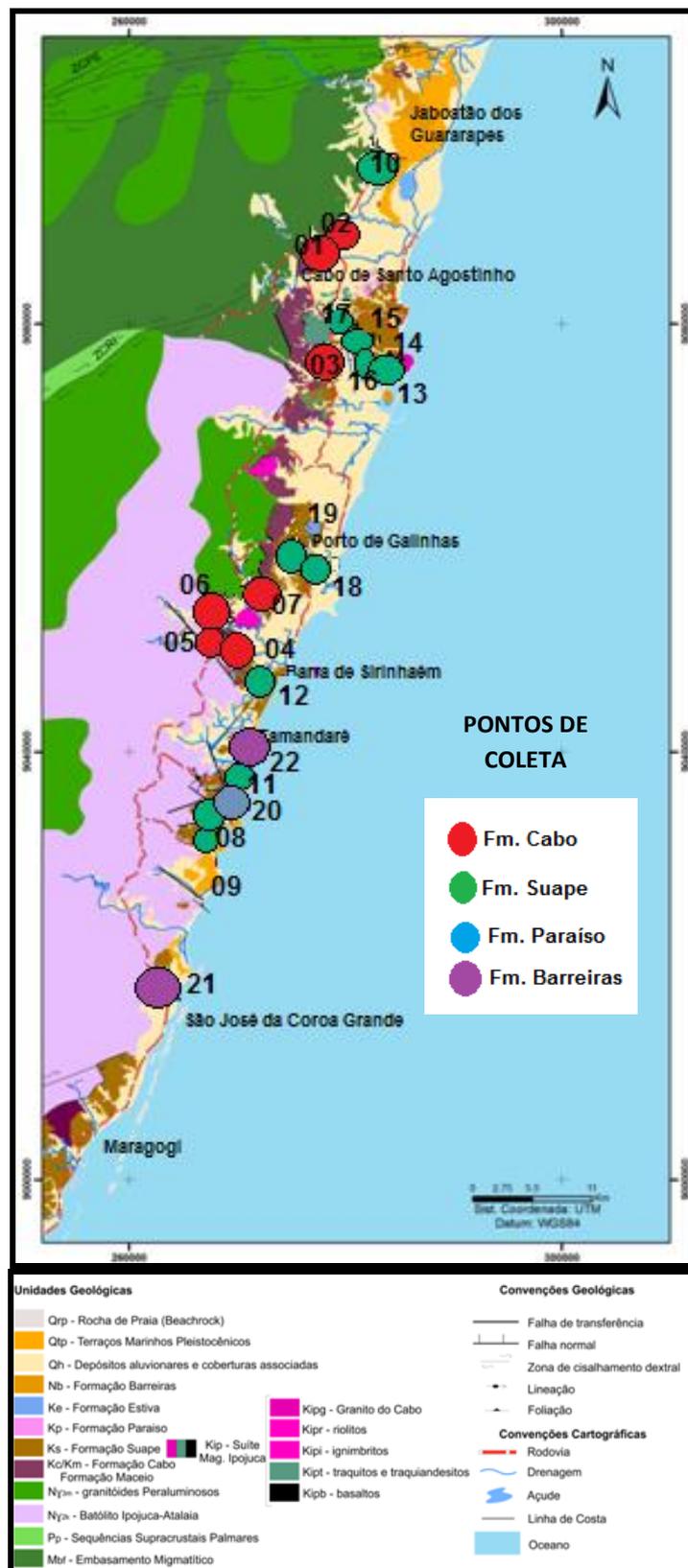


Figura 04. Mapa de localização dos pontos na Bacia de Pernambuco, Formação Cabo (PPE-01, PPE-02, PPE-03, PPE-04, PPE-05, PPE-06, PPE-07). Formação Suape, (PPE-8, PPE-9, PPE-10, PPE-11, PPE-12, PPE-13, PPE-14, PPE-15, PPE-16, PPE-17, PPE-18, PPE-19). Formação Paraíso, (PPE-20). Formação Barreiras (PPE-21 e PPE-22), adaptado de Correia (2015).

4.3 Trabalhos de Laboratório

4.3.1 Preparação de amostras, e descrição dos minerais pesados

As amostras de cada afloramento depois de bateadas para concentrações dos minerais pesados foram secas em temperatura ambiente e posteriormente, feitas as contagens de 100 grãos e cálculos de frequência média e ocorrência. Os minerais foram identificados, com auxílio de lupa binocular, e guias de determinação de minerais em grãos, através da cor, forma e hábito como Pereira *et al.*, (2005).

4.3.2 Caracterização química por microanálise pontual por MEV (WDS e EDS)

Depois das contagens e identificações, os minerais foram selecionados para observações e imageamentos (até 350 vezes), e análises químicas qualitativas e quantitativas pontuais (1-5 micrômetros), no microscópio eletrônico de varredura (MEV), com espectrômetro de comprimento de onda (WDS) e (EDS), acoplados. Essas análises, foram realizadas nos Laboratórios de Dispositivos e Nanoestruturas (LDN), da UFPE e no RMIc, Rede de Microscopia e Microanálises de Minas Gerais (DEGEO/EM), da FAPEMIG, respectivamente. A microscopia eletrônica compreende diversos métodos experimentais e modos de imagem e facilidades analíticas associadas, e continua a liderar as técnicas de alta resolução espacial para a caracterização morfológica, microanalítica e macroestrutural de materiais (Sá, 2008). O MEV apresenta um papel privilegiado, na investigação das superfícies expostas de todas as classes de materiais para a sua caracterização morfológica, microanalítica e macroestrutural, avaliando as propriedades externas e internas das superfícies, e a suas alterações no curso de processos experimentais, oferecendo uma resolução e uma grande diversidade de condições experimentais, sem restrições revelantes, no que se refere às formas ou dimensões das amostras (Sá, 2008).

4.3.3 Datação com método U-Pb em zircões detríticos e obtenção das idades máximas, para auxílio no estudo da proveniência do material sedimentar das formações investigadas

Os zircões separados de cada amostra foram analisados nos laboratórios da Geotop, vinculados à UQMA (Universidade du Quebec à Montreal). Os grãos foram colocados em pastilhas de resina epóxi, em seguida procedeu-se a brasão das pastilhas, na metade da espessura média dos grãos, até expor os núcleos em resina de 1 mm (Figura 05).

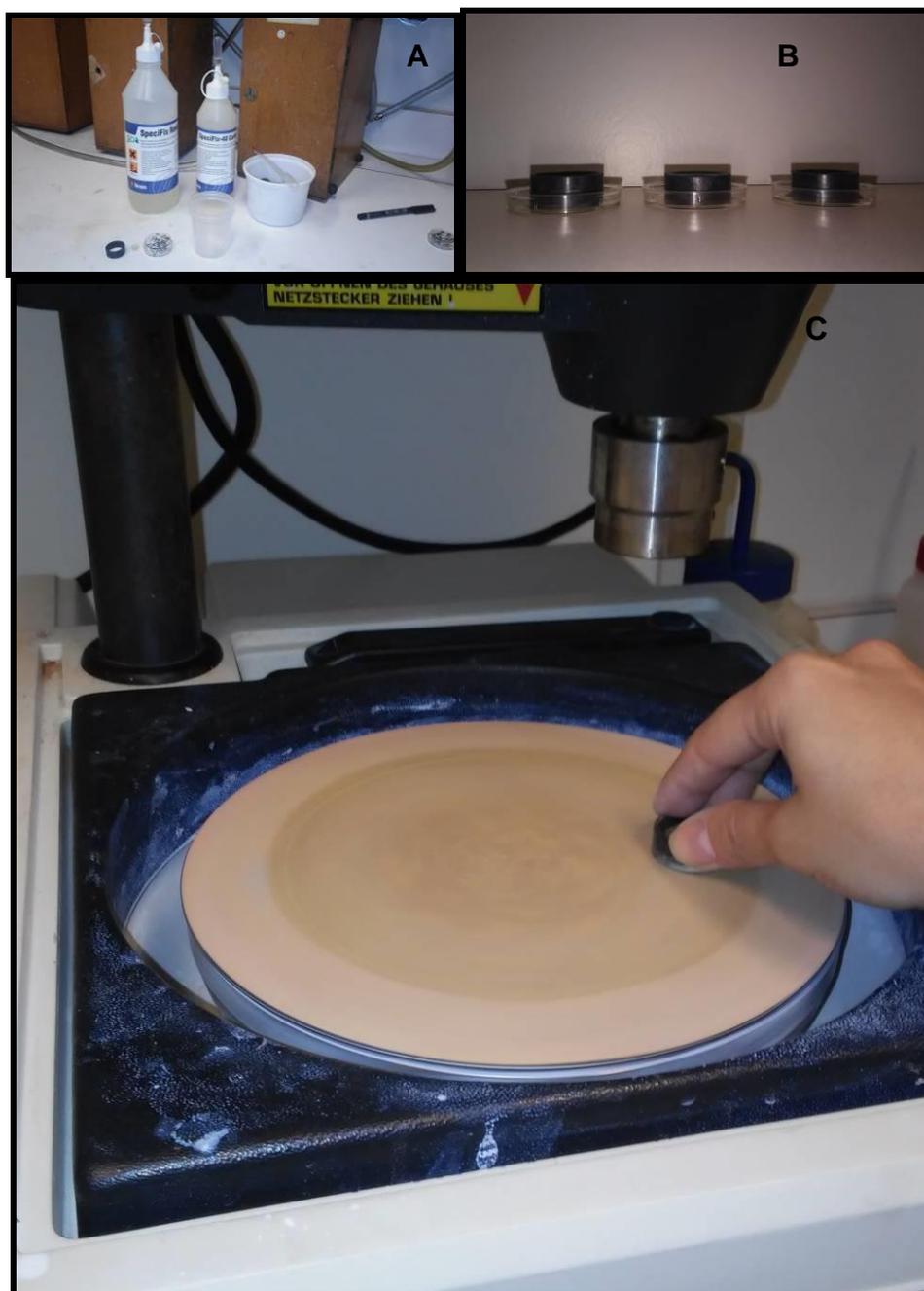


Figura 05. Etapas de preparação dos zircões detríticos para análise da estrutura interna e datação. Montagem dos grãos em resina epóxi (A); grãos já montados e aguardando secagem por 24 horas (B); grãos sendo polidos em pasta diamantada (C).

Em seguida, foram realizadas análises morfológicas dos zircões, utilizando a microscopia eletrônica de varredura-catodoluminescência (MEV-CL), para análises de suas estruturas internas (Figura 06). Essa metodologia tem se tornado complementar, e importante para o entendimento da história de cristalização, e das condições envolvidas durante a formação dos minerais. Zoneamentos composicionais, defeitos intracristalinos, reabsorções, alterações, dilatações de cristais e fraturas preenchidas, são feições texturais importantes que podem ser observadas apenas com o auxílio de MEV-CL.

Finalmente, a última etapa consistiu nas análises por U-Pb nas razões isotópicas pontuais, obtidas por LA-ICP-MS, utilizando o Finnigan Neptune acopladas a um laser ArF($\lambda = 193$ nm). As vantagens do LA-ICP-MS, em relação aos sistemas convencionais de datação de zircão, é a possibilidade de efetuar micro-análises localizadas diretamente nos cristais, e, portanto, na obtenção de informações adicionais de eventos geológicos impressos no zircão (Torquato & Kawashita, 1996).

As idades foram calculadas usando ISOPLOT 3,0 (Ludwig, 2003). Posteriormente, foram feitos gráficos de probabilidade relativa, ideal para análise de proveniência e gráficos de Concórdia para compreensão das idades utilizando o programa lolite 2,5 v, vinculado ao excel 2007.



Figura 06. Imagem do MEV acoplado a catodoluminescência, equipamento utilizado para análises das estruturas internas dos zircões.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1- Aspectos Sedimentológicos

5.1.1 - Formação Cabo

Na Formação Cabo foram realizadas coletas de amostras em 7 pontos (PPE-01, PPE-02, PPE-03, PPE-04, PPE-05, PPE-06, PPE-07) (Figura 07). O afloramento PPE-01 tem em média 3 metros de altura e sua parte aflorante mede em média 6 metros de extensão, apresenta um contato erosivo entre os conglomerados e a camada de rocha arenítica da Formação Suape localizada acima. Apresenta ainda, estratificações plano paralelas e cruzadas, além de diques de riolitos alojados nos conglomerados e entre as camadas acima e abaixo do tufo da Formação Suape, sua matriz corresponde a um arenito de granulação média/grossa de coloração cinza (Tabela 03), (Figura 08).

O afloramento PPE-02, medindo 4,5 metros de altura e 10 metros de extensão, é formado por conglomerados polimíticos, imersos em uma matriz arenosa, com seixos e matacões medindo até 1 m de diâmetro, relacionados à fase proximal do sistema de leque aluvial. Na parte superior desse afloramento, observa-se um arenito grosso de geometria tabular com estratificação cruzada (Figura 09).

O afloramento PPE-03 tem em média 5 metros de altura e 20 metros de extensão. Na base, observam-se arenitos grossos à conglomeráticos maciços, com aproximadamente 2,2 metros de espessura, de coloração cinza, com seixos de rocha cristalina, arenitos grossos a conglomeráticos, de coloração amarelada com seixos de rochas cristalinas, apresentando estratificação plano paralela. Cortando os arenitos, observam-se um dique de traquito da SMI, de coloração arroxeadada, de aproximadamente 1,2 metros de espessura. Na parte superior do afloramento encontra-se uma camada de arenito grosso, de aproximadamente 1,5 metros de espessura, seguido de arenito grosso, maciço e sobreposto a uma camada de arenito fino a médio maciço de aproximadamente 0,9 metros de espessura (Silva, 2013), (Figura 10).

Tabela 03. Distribuição dos pontos e coordenadas geográficas

Amostras	Coordenadas	Localização
Fm.Cabo PPE-01	276909 9086597	BR-101.
Fm. Cabo PPE-02	0277041 9086584	Retorno entre BR-101 e a PE-60.
Fm. Cabo PPE-03	0277977 9077436	Entrada da Coca-Cola na PE-60 (Km 07).
Fm. Cabo PPE-04	0268111 9051356	PE-60, em direção à Sirinhaém.
Fm. Cabo PPE-05	0268604 9050709	Estrada de acesso à PE- 60.
Fm. Cabo PPE-06	268321 9053876	Estrada de acesso à PE- 60.
Fm. Cabo PPE-07	0271146 9055292	Estrada de acesso à PE-60.
Fm Suape PPE-08	0267440 9031320	Estrada de acesso à cidade de Tamandaré.
Fm.Suape PPE-09	0267109 9031156	Estrada de acesso à cidade de Tamandaré.
Fm. Suape PPE-10	0282778 9094589	BR-101, próximo ao bairro da Comporta.
Fm. Suape PPE-11	0277086 9037484	PE-072, próximo ao Rio Ariquindá
Fm. Suape PPE-12	0271816 9046390	PE-60, sentido Rio Formoso.
Fm. Suape PPE-13	0282546 9075727	Próximo ao complexo do porto de Suape.
Fm. Suape PPE-14	0280801 9078278	TDR, complexo do Porto de Suape.
Fm. Suape PPE-15	0281649 9076912	Complexo do Porto de Suape, na estrada TDR.
Fm. Suape PPE-16	0282726 9076122	Complexo do Porto de Suape, na estrada TDR.
Fm. Suape PPE-17	0279416 9079731	Próximo à PE-28.
Fm. Suape PPE-18	0276732 9057376	PE-51, em direção à Toquinho.
Fm. Suape PPE-19	262876 9017707	Margens da PE- 51.
Fm Paraíso PPE-20	270674 903972	Praia de Guadalupe, litoral sul do município de Sirinhaém.
Fm. Barreiras PPE-21	268236 9032875	São José da Coroa Grande.
Fm. Barreiras PPE-22	274704 9057669	Tamandaré.

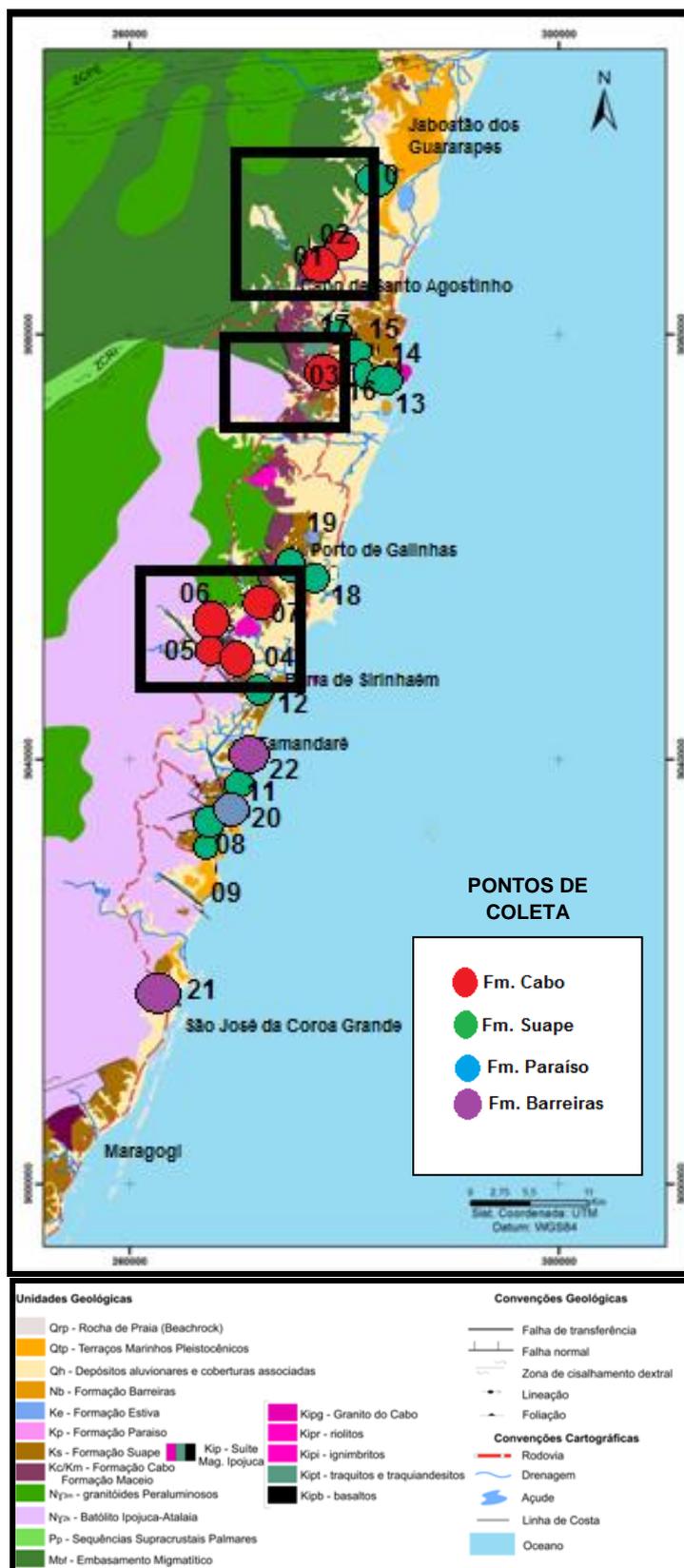


Figura 07. Distribuição dos pontos na Bacia de Pernambuco, Formação Cabo em destaque (PPE-01, PPE-02, PPE-03, PPE-04, PPE-05, PPE-06, PPE-07). Formação Suape, (PPE-8, PPE-9, PPE-10, PPE-11, PPE-12, PPE-13, PPE-14, PPE-15, PPE-16, PPE-17, PPE-18, PPE-19). Formação Paraíso, (PPE-20). Formação Barreiras (PPE-21 e PPE-22), adaptado de Correia, (2015).

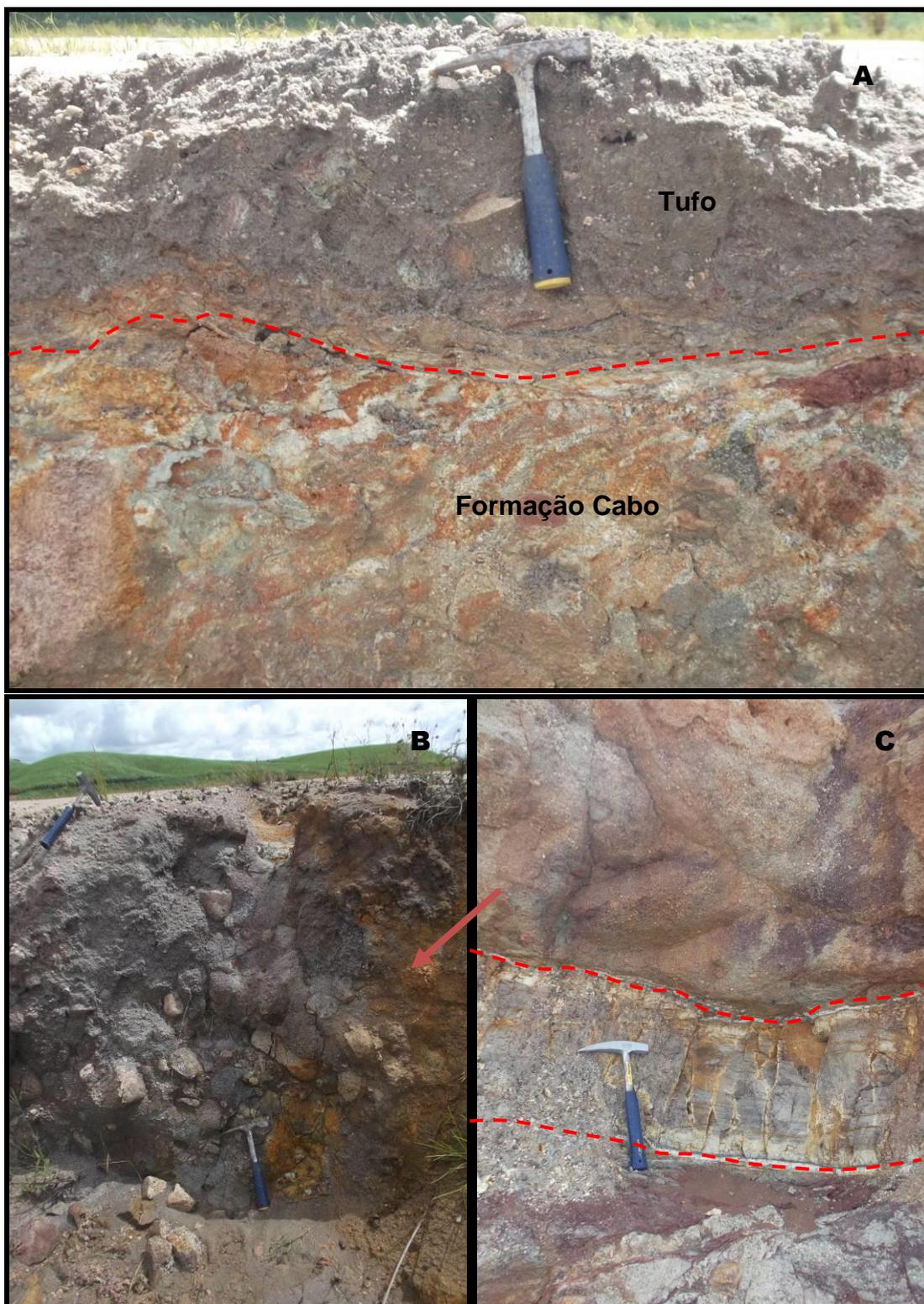


Figura 08. Afloramento PPE-01; contato dos conglomerados da Formação Cabo com rocha vulcanoclástica (tufo), (A); dique de riolito cortando o conglomerado da Formação Cabo (seta vermelha), (B); dique de riolito, cortando a camada de tufo (C).



Figura 09. Visão geral do afloramento PPE-02, da Formação Cabo; contendo conglomerados polímiticos com clastos de até 1 m de diâmetro (seta vermelha).

O afloramento PPE-04 apresenta 4 metros de altura e 10 metros de extensão, com presença de arenitos de coloração branco e alaranjado no topo, de granulação grossa, e lateralmente intercalações de arenitos brancos e laranjas, com folhelhos cinza-esverdeados na base, esse afloramento é interpretado como parte distal do leque aluvial, onde se observam a presença de sedimentos de granulação fina (Figura 11).

O afloramento PPE-05 mede em média 2,5 metros de altura, composto por conglomerado sobreposto ao embasamento. O conglomerado apresenta parte sustentado pela matriz (base) e parte sustentado pelos clastos, apresentando grãos de quartzo, de feldspato e de fragmentos de pegmatitos, xistos, gnaisses e granitos. Apresentam grãos subangulosos a subarredondados, com matriz areno-argilosa de coloração cinza escuro (Figura 12).

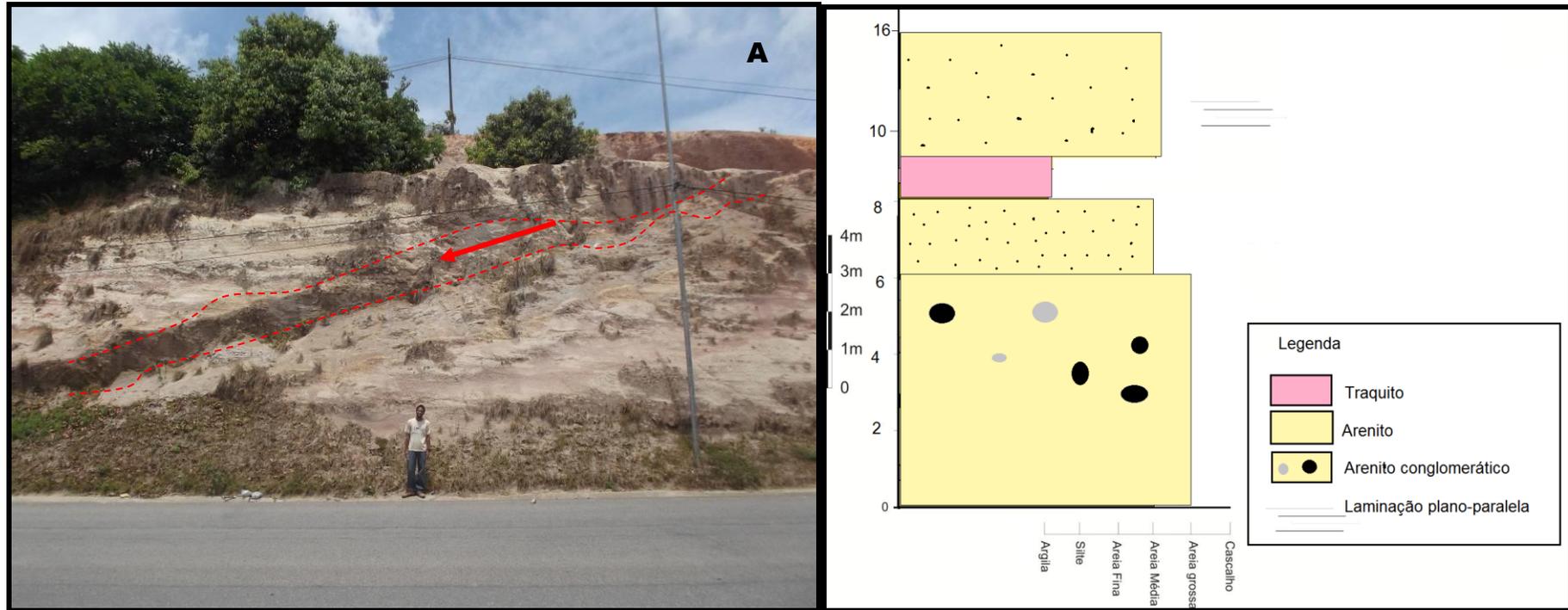


Figura 10. Visão geral do afloramento PPE-03 da Formação Cabo, onde se observa um dique de traquito da SMI (seta vermelha), cortando os arenitos (A); e perfil estratigráfico (B).



Figura 11. Visão geral do afloramento PPE-04 da Formação Cabo; corresponde a parte distal de um leque aluvial (A); detalhe de arenitos de coloração branco e alaranjado; intercalados com folhelhos cinza-esverdeado (seta vermelha), (B).

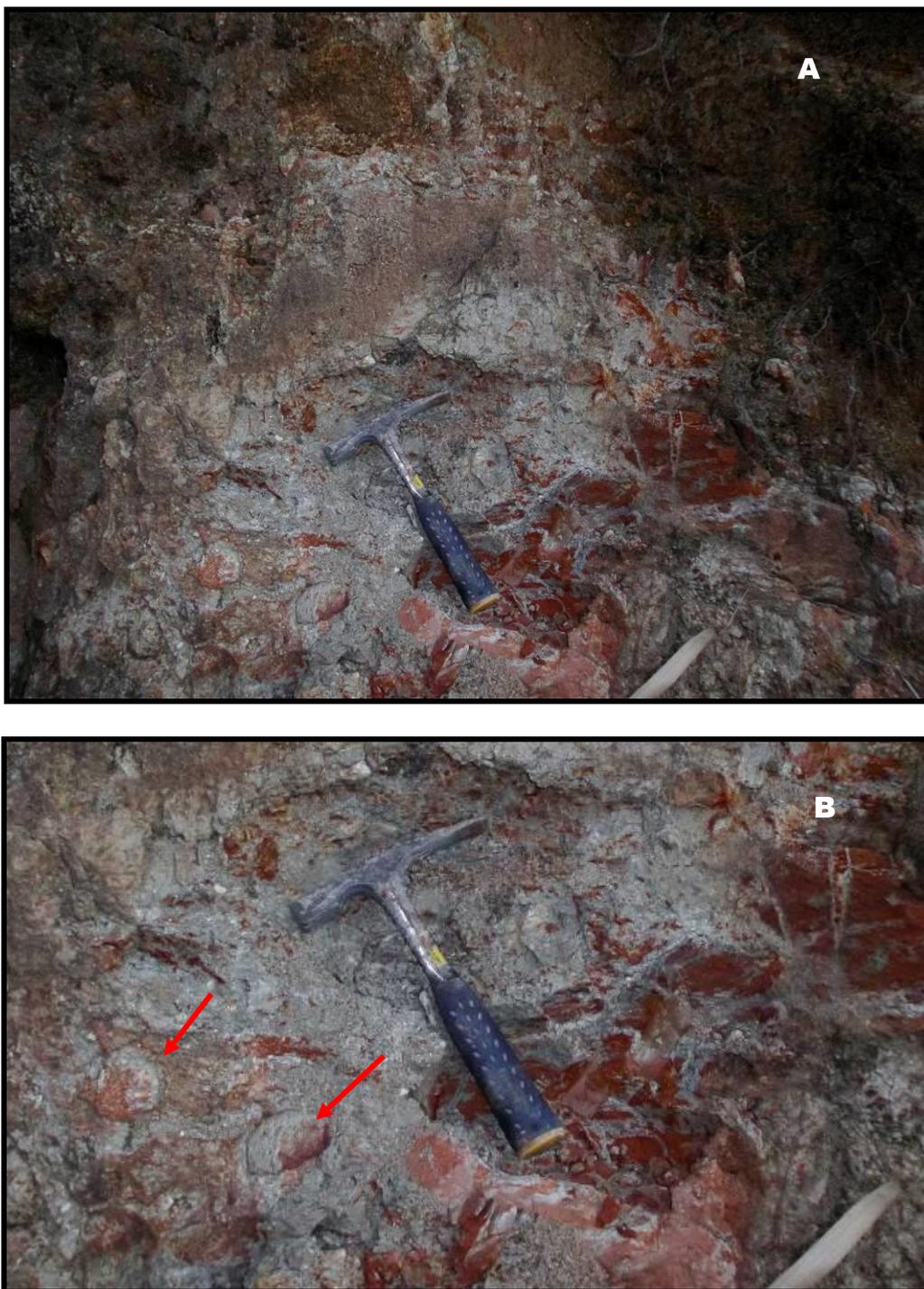


Figura 12. Afloramento do conglomerado da Formação Cabo (afloramento PPE-05) (A); detalhe do conglomerado com clastos arredondados (setas vermelhas), inclusos na matriz areno-argilosa (B).

O afloramento PPE-06 mede em média 1,50 de altura e 5 metros de extensão, composto por um conglomerado clasto suportado, com seixos polimíticos, de tamanhos variados, e matriz de granulação areia média a grossa, representando a parte proximal do leque aluvial (Figura 13).



Figura 13. Conglomerado clasto suportado da Formação Cabo (afloramento PPE-06).

O afloramento PPE-07 tem em média 4 metros de altura e 8 metros de extensão, constituído por conglomerado com clastos, que medem em torno de 30 cm, imersos em uma matriz composta por arenitos de granulação média a grossa, de coloração branca e alaranjada (Figura 14).

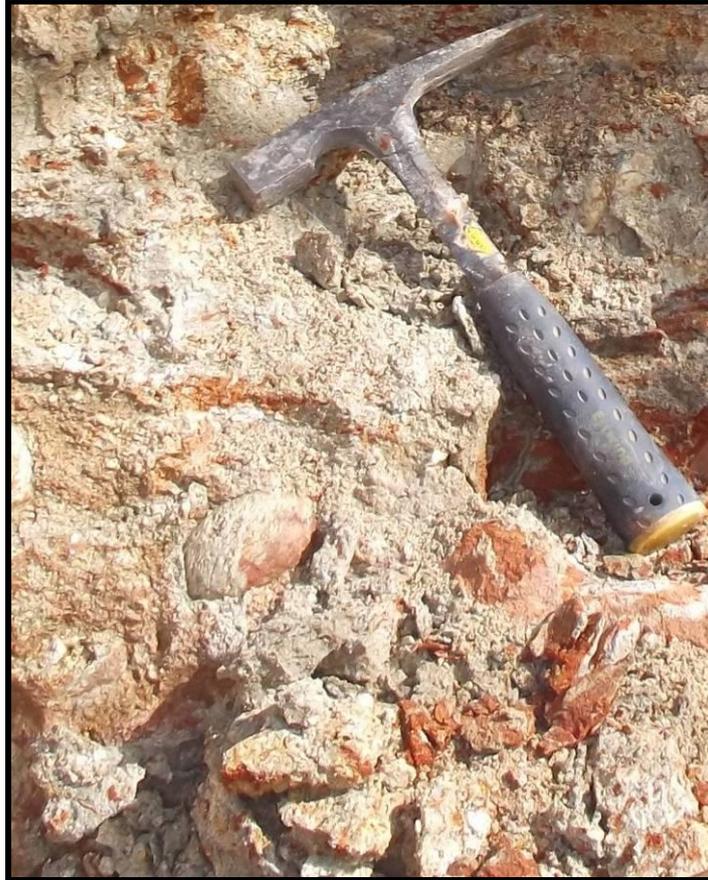


Figura 14. Detalhe do conglomerado com clastos imersos em uma matriz arenosa, da Formação Cabo (afloramento PPE-07).

5.1.2 Formação Suape

Na Formação Suape as amostras foram retiradas em afloramentos distribuídos em 14 pontos (PPE-8, PPE-9, PPE-10, PPE-11, PPE-12, PPE-13, PPE-14, PPE-15, PPE-16, PPE-17, PPE-18 e PPE-19) (Figura 15).

O afloramento PPE-08 é constituído por sequências de arenitos, siltito e argilito. Iniciando na base, por um arenito fino, esbranquiçado, com estratificação plano paralela, seguido por siltito maciço esverdeado. Sobreposto ao siltito ocorre arenito médio, avermelhado, em seguida arenito avermelhado com drapes de argila e argilito vinho e esverdeado. No topo da seção encontram-se derrames de rochas ígneas, em uma matriz tufácea mosqueada (Figura 16).

No afloramento PPE-09, segundo Maia (2012), o topo da seção é constituído por derrames de rochas ígneas (traquito) sotoposto por intercalações de arenitos esbranquiçados e argilitos avermelhados. Nos arenitos observam-se a presença de intraclastos de rochas vulcânicas (riolito) (Figura 17).

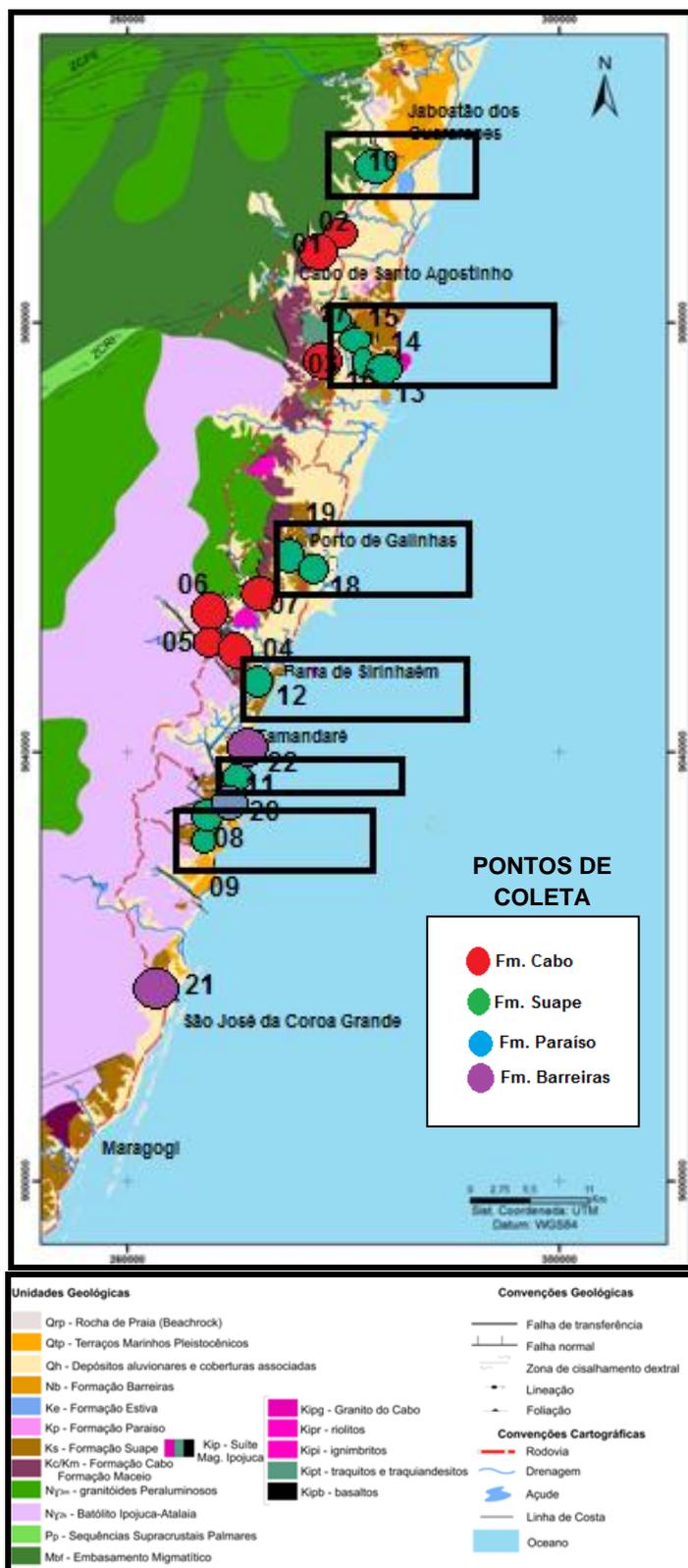


Figura 15. Distribuição dos pontos na Bacia de Pernambuco, Formação Suape em destaque (PPE-8, PPE-9, PPE-10, PPE-11, PPE-12, PPE-13, PPE-14, PPE-15, PPE-16, PPE-17, PPE-18, PPE-19) adaptado de Correia, (2015).

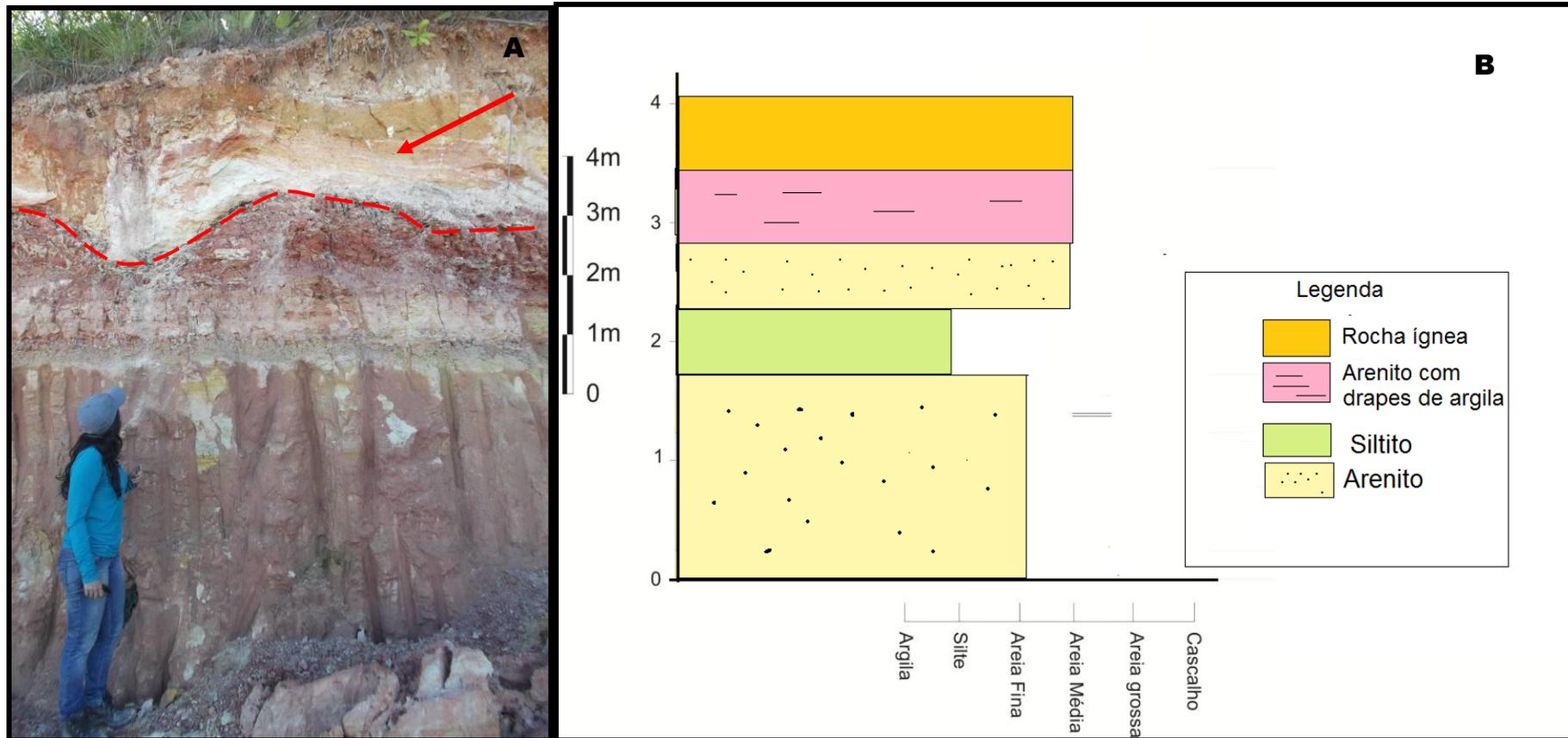


Figura 16. Visão geral do afloramento PPE-08 da Formação Suape, constituído por arenitos e siltitos na base, e no topo derrames de rochas ígneas, em uma matriz tufacea mosqueada (seta vermelha), (A); e perfil estratigráfico (B).

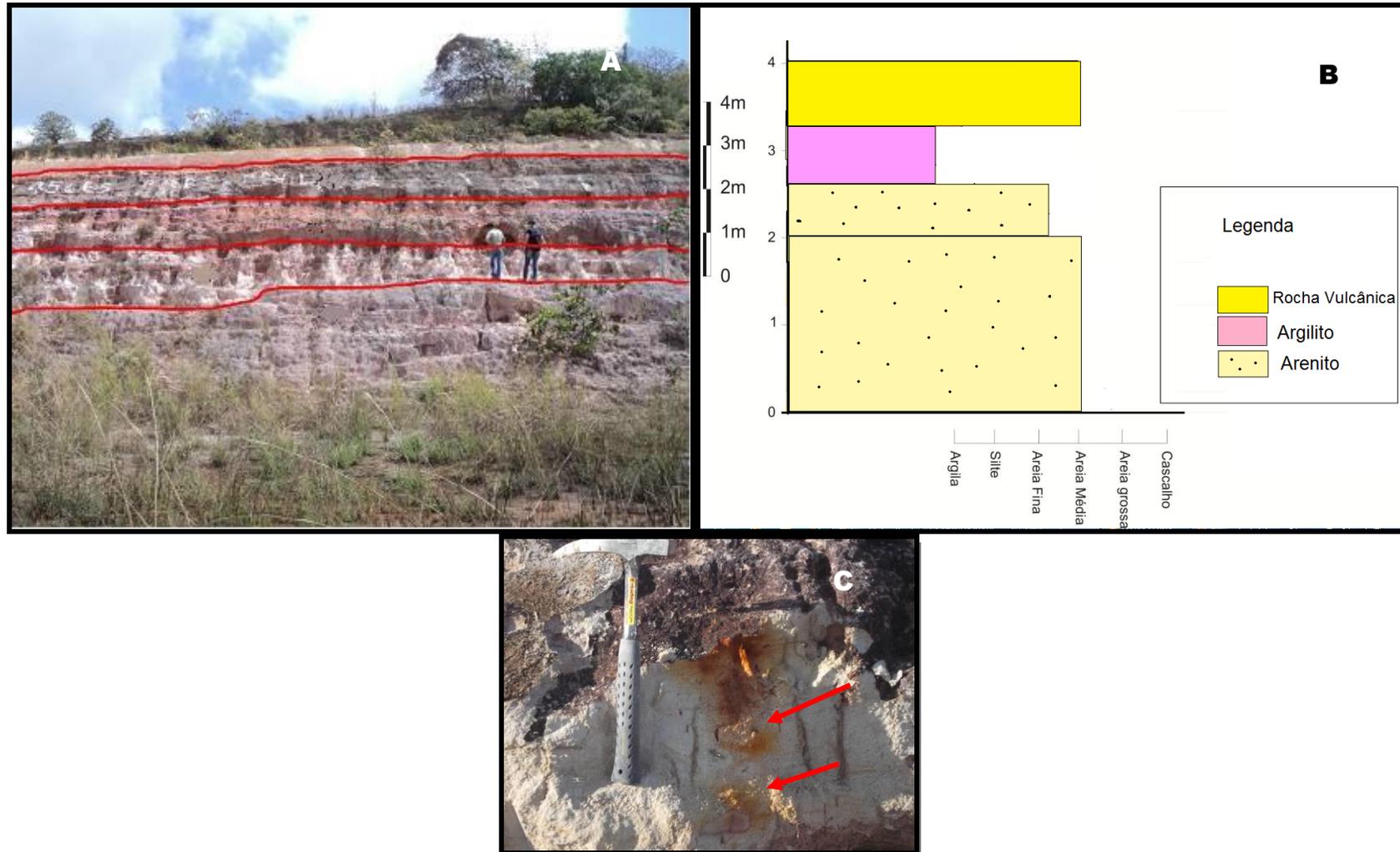


Figura 17. Vista geral dos sedimentos da Formação Suape capeados por traquitos (Afloramento PPE-09) , (A); perfil estratigráfico (B); e detalhe do arenito com intraclastos de riolito (setas vermelhas), (C).

O afloramento PPE-10 é formado por um arenito médio, branco a mosqueado, contendo clastos esbranquiçados de rochas vulcânicas. Esse arenito está intercalado com lâminas de argilitos avermelhados (Figura 18).

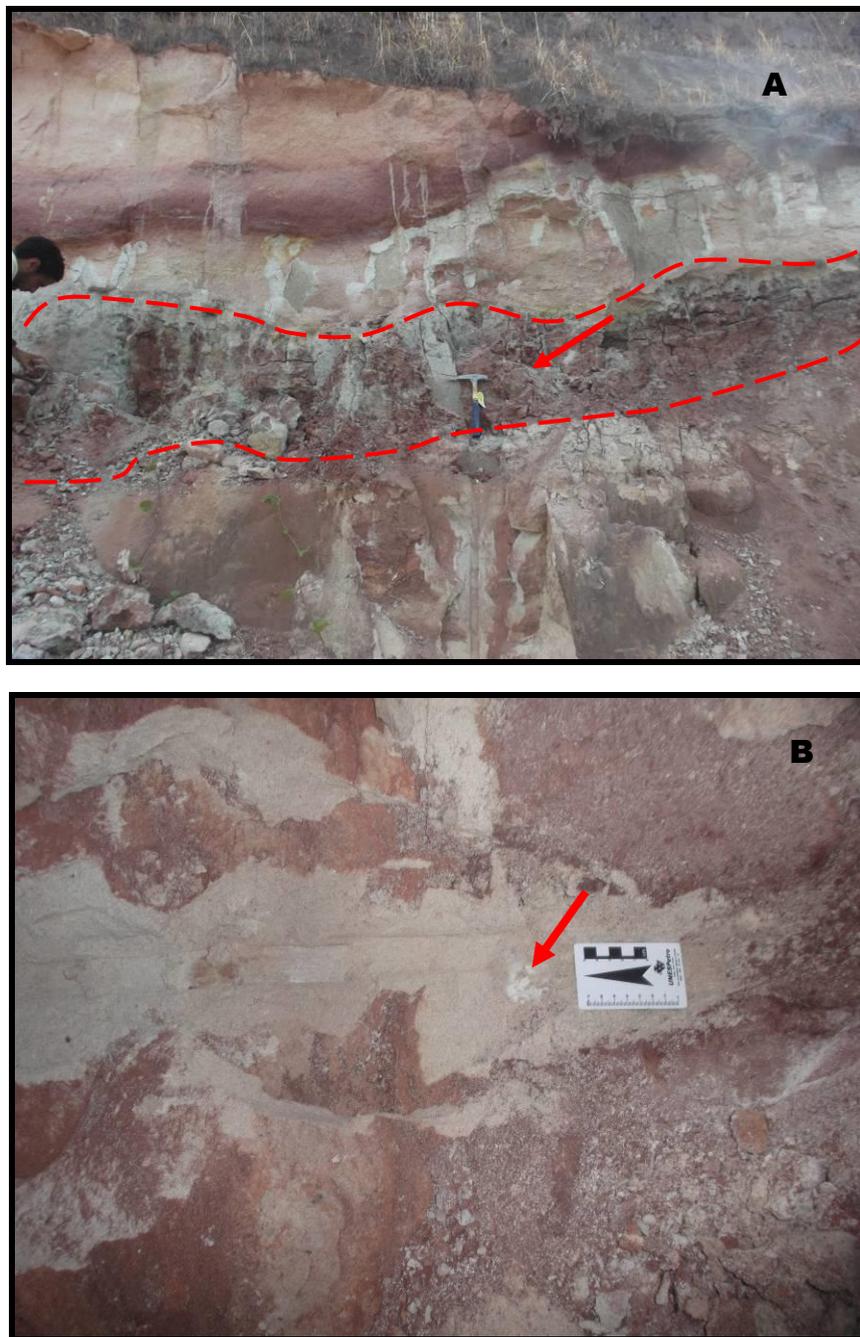


Figura 18. Afloramento PPE-10 da Formação Suape, formado por um arenito médio, branco a mosqueado, intercalado com lâminas de argilitos avermelhados (seta vermelha) (A); contendo clastos esbranquiçados de provável origem vulcânica (seta vermelha) (B).

O afloramento PPE-11 tem 36 metros de altura, com 300 metros de extensão. Inicia, na base, por um granito de textura média, do embasamento, seguido por arenitos e siltitos intercalados com camadas de argilitos avermelhados, maciços, interpretados como níveis de rochas vulcânicas alteradas (Maia, 2012). No topo ocorrem depósitos arenosos identificados como sendo da Formação Algoduais (Lima Filho, 1998; Maia, 2012), (Figura 19).

O afloramento PPE-12 mede 22 metros de altura e 300 metros de extensão, sendo constituído por arenitos de granulação grossa, maciço de coloração vermelha, e por arenitos médios a finos, de coloração branca rósea, intercalados por argilitos de coloração roxo (Figura 20).

O afloramento PPE-13 possui 17 metros de altura e 70 metros de extensão. Apresenta intercalações de arenitos e argilitos com rochas vulcânicas alteradas (Figura 21). Os arenitos são esbranquiçados, de granulação média com estratificação cruzada tabular.

O afloramento PPE-14 mede em média 15 metros de altura, com cerca 30 metros de extensão, (Figura 22). Na base encontram-se um basalto alterado e acima intercalações de arenitos branco, com argilitos maciços, de coloração rósea amarronzada. Presença de alguns níveis de rochas piroclásticas.

O afloramento PPE-15 apresenta 5 metros de altura, com presença de arenito médio a fino esbranquiçado na base, intercalado com argilitos de coloração roxa e no topo presença de arenito médio avermelhado. Observa-se uma provável falha com deslocamento das camadas. Nota-se a presença de uma camada espessa de material fino, esbranquiçado com sinais de alteração, entre os arenitos, (Figura 23).

O afloramento PPE-16 mede dois metros de altura apresentando arenitos médios, brancos a roxos, com estratificação cruzada tabular, (Figura 24).

O afloramento PPE-17 apresenta em média 10 metros de altura. Está constituído na base por um basalto alterado, onde ainda se observa a presença de amígdalas, estando sobreposto por intercalações de camadas de arenitos finos a grossos, de coloração esbranquiçada a vermelha, e de argilitos maciços de coloração avermelhada (Figura 25).

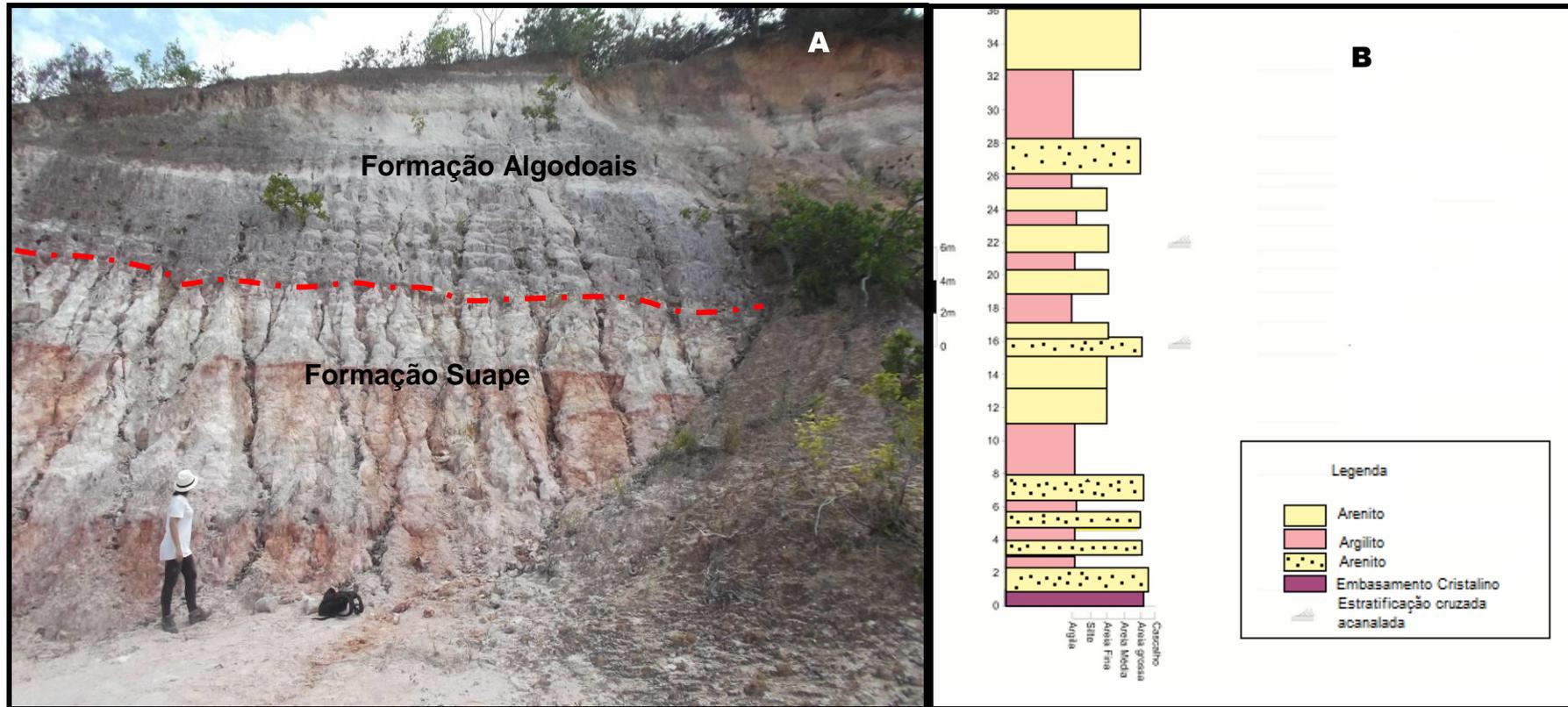


Figura 19. Visão geral do afloramento PPE-11 da Formação Suape, com intercalações de arenitos e argilitos (A); e perfil estratigráfico adaptado de Maia (2012) (B).

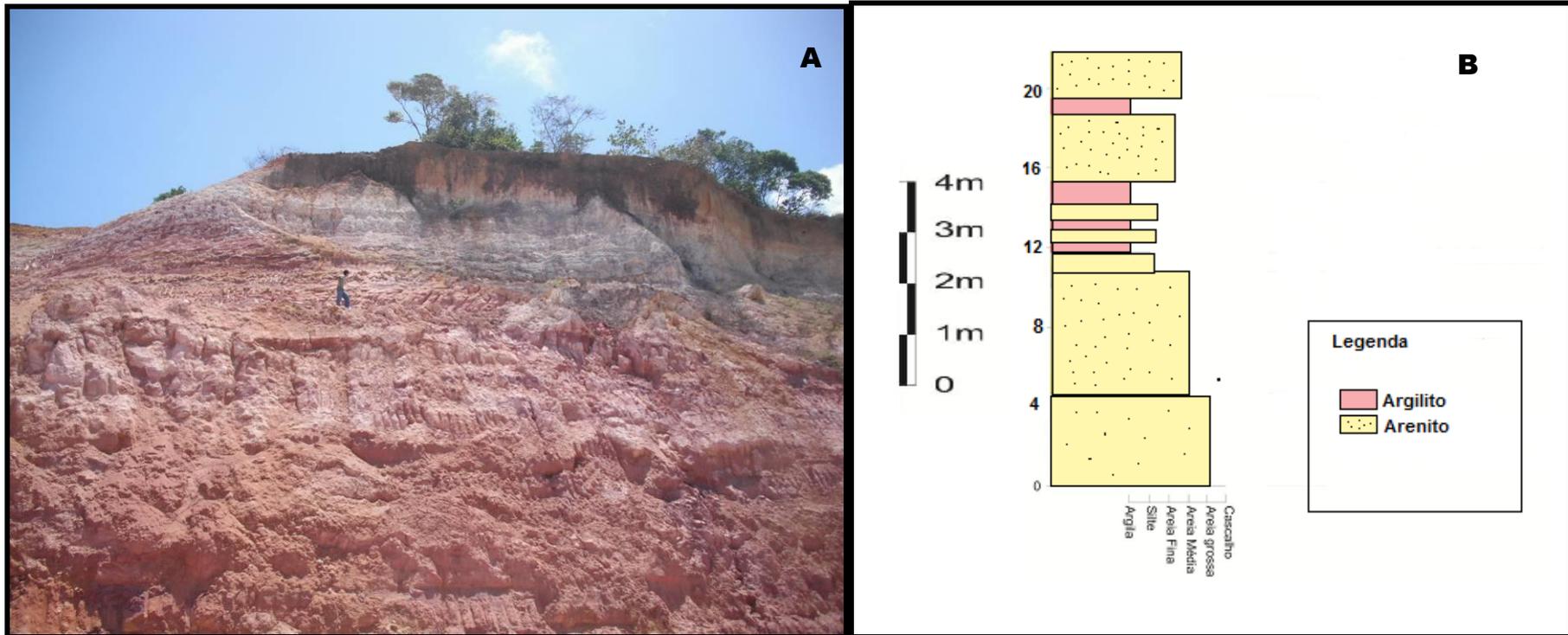


Figura 20. Visão geral do afloramento PPE-12 da Formação Suape, formado por arenitos intercalados com argilitos (A); e perfil estratigráfico (B).

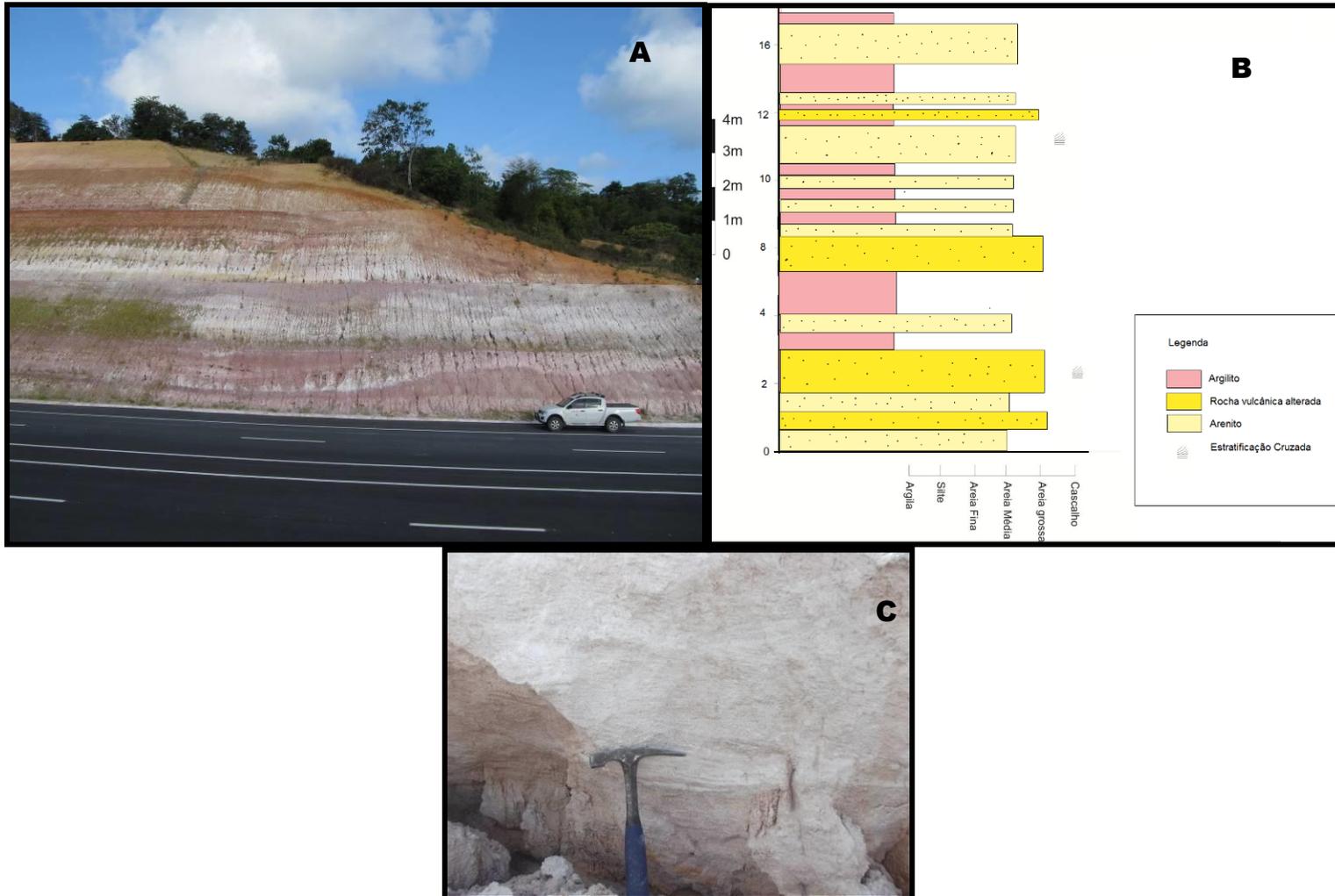


Figura 21. Imagem do afloramento PPE-13 da Formação Suape (A); perfil estratigráfico (B); detalhe do arenito com estratificação cruzada tabular (C).

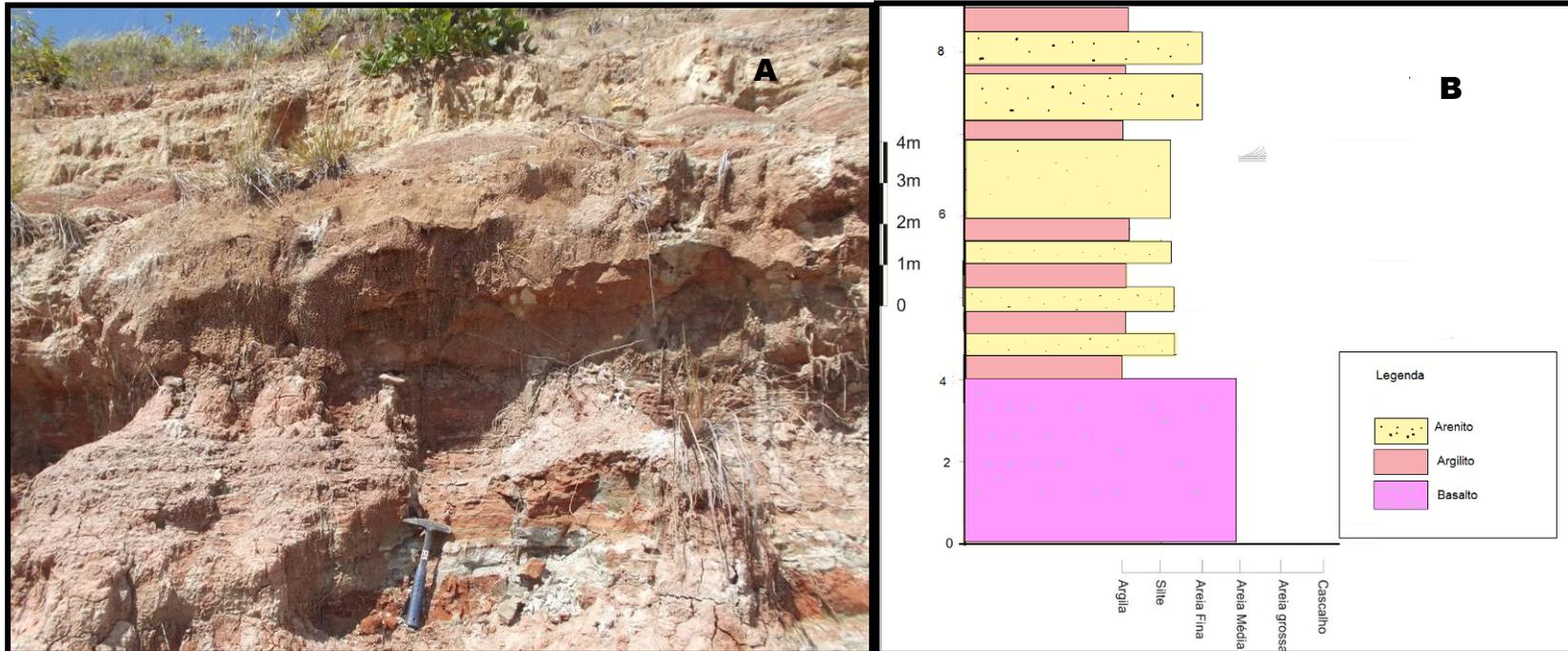


Figura 22. Visão geral do Afloramento PPE-14 da Formação Suape, Observa-se o aspecto tabular das camadas (A); e perfil estratigráfico (B).

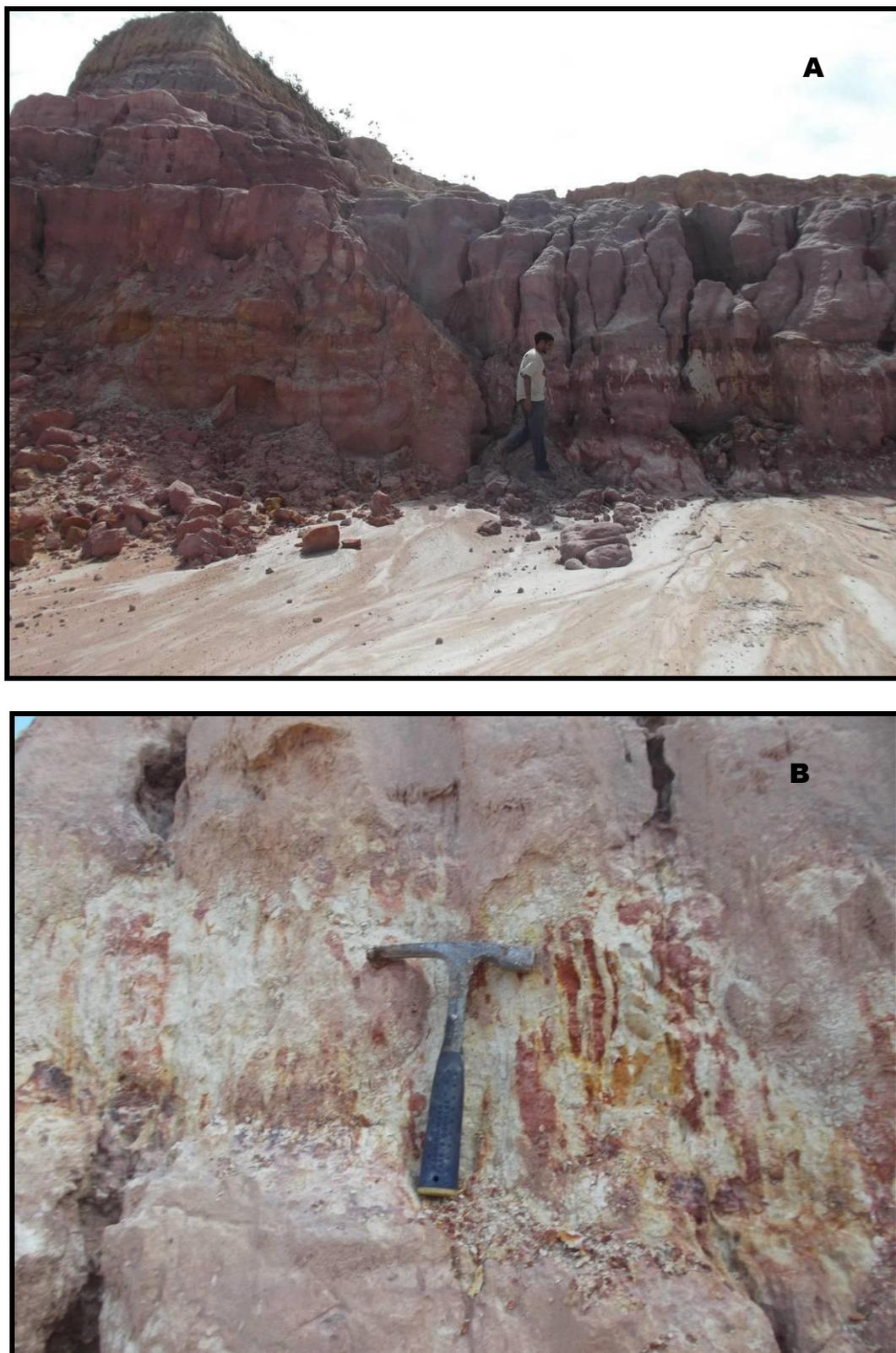


Figura 23. Visão geral do afloramento PPE-15, da Formação Suape (A); detalhe da presença de um pacote de composição fina e esbranquiçada entre os arenitos (B).



Figura 24. Depósitos da Formação Suape (afloramento PPE-16), (A); detalhe do arenito com estratificação cruzada planar (B).

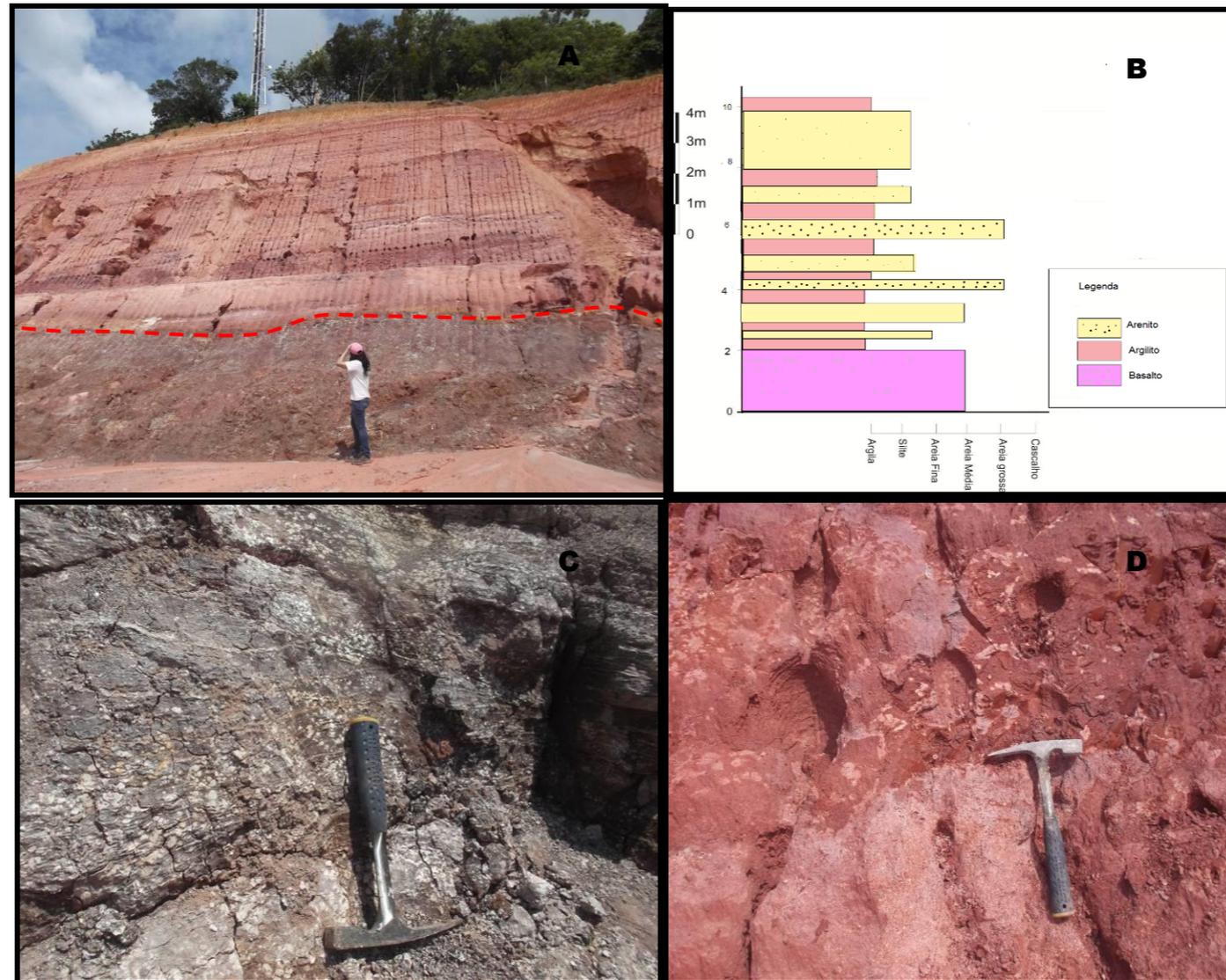


Figura 25. Visão geral do afloramento PPE-17 da Formação Suape, formado por basalto na base e intercalações de arenitos e argilitos em direção ao topo (A); perfil estratigráfico (B); detalhe de presença de amígdalas esbranquiçadas no basalto (C); e detalhe de arenito de coloração vermelha arroxeada (D).

O afloramento PPE-18 mede em média 2 metros de altura, com presença de arenitos médios a finos de coloração alaranjada com acamamento plano-paralelo, intercalados com argilitos. Observam-se nos argilitos pequenos falhamentos e estruturas de bioturbação, (Figura 26).

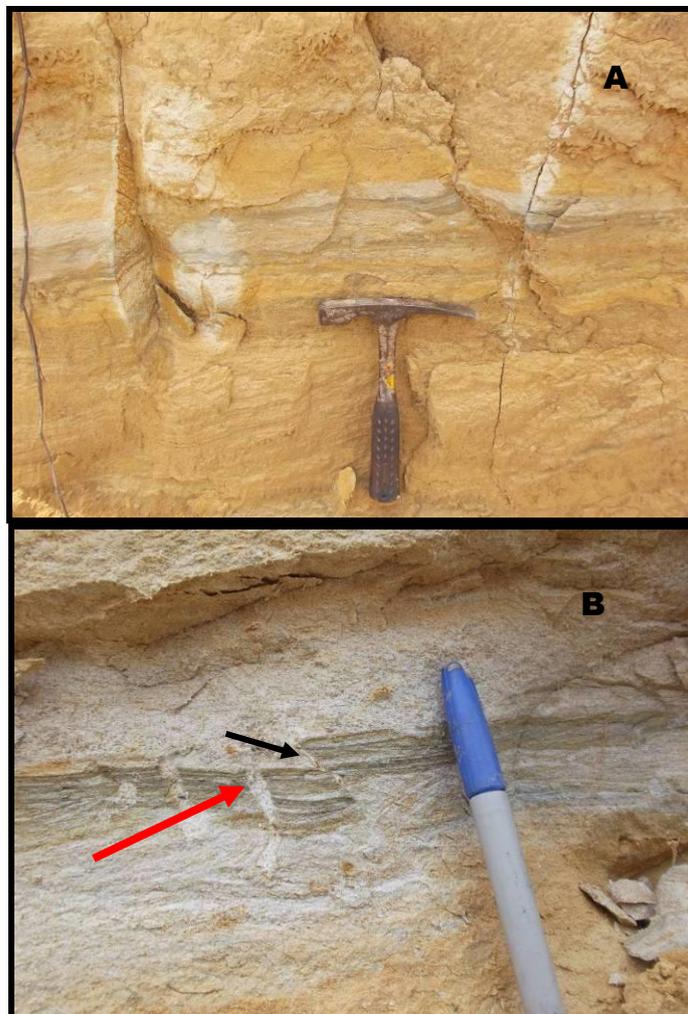


Figura 26. Imagem do afloramento (PPE-18) da Formação Suape, com presença de argilitos intercalados em pacotes de arenitos de coloração alaranjada, apresentando estratificação plano-paralela (A). Detalhe de falha na camada de argilito (seta preta) e de estrutura de bioturbação (seta vermelha), (B).

O afloramento PPE-19 mede 10 metros de altura, está constituído por arenitos maciços, de coloração branco e laranja, mal selecionados, com estratificações plano-paralela e cruzada tabular, intercalados com argilitos, maciços, de coloração roxa (Figura 27).

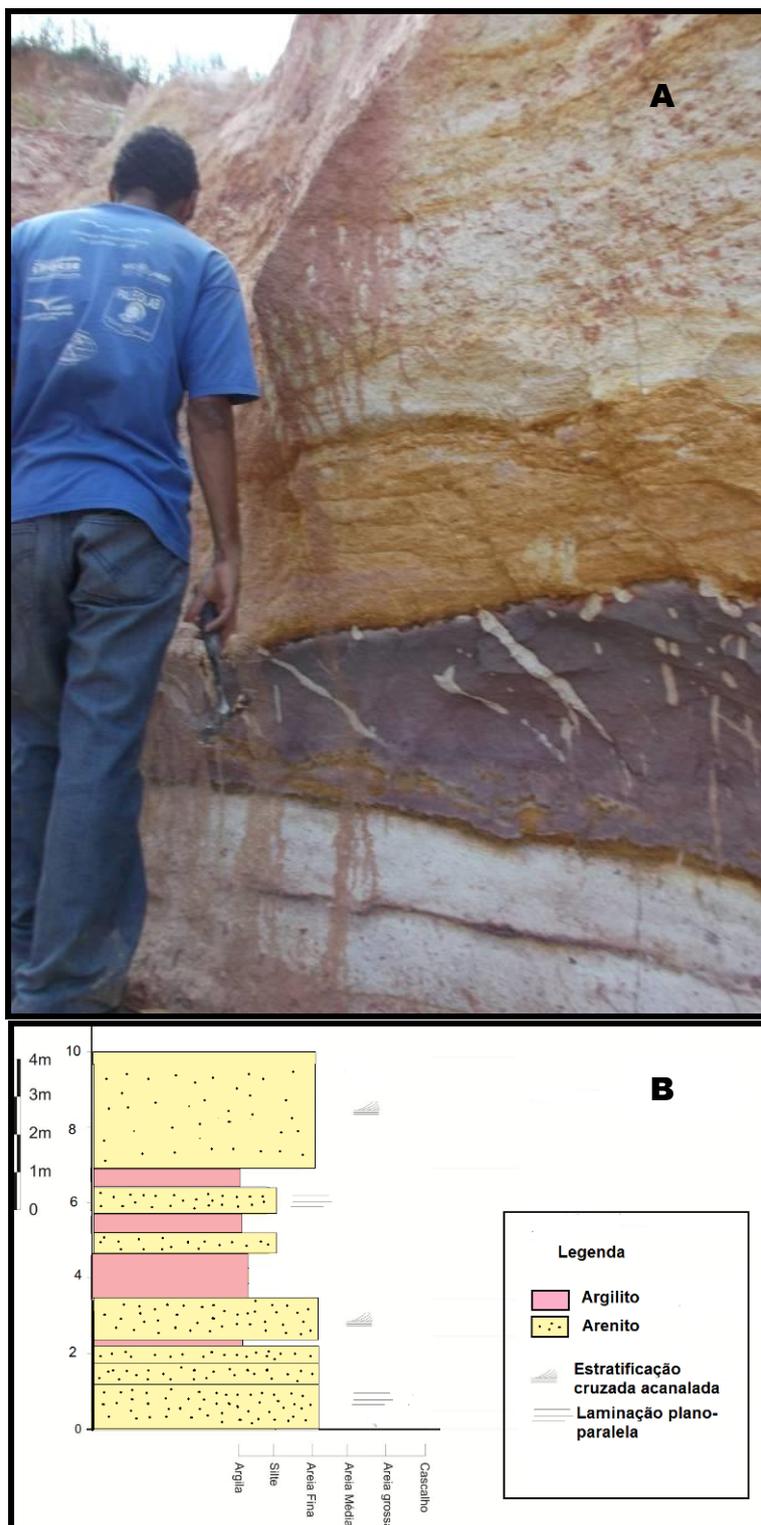


Figura 27. Detalhe do afloramento PPE-19 da Formação Suape, camadas de arenito com estratificação cruzada acanalada e argilitos intercalados (A); Imagem do perfil estratigráfico (B).

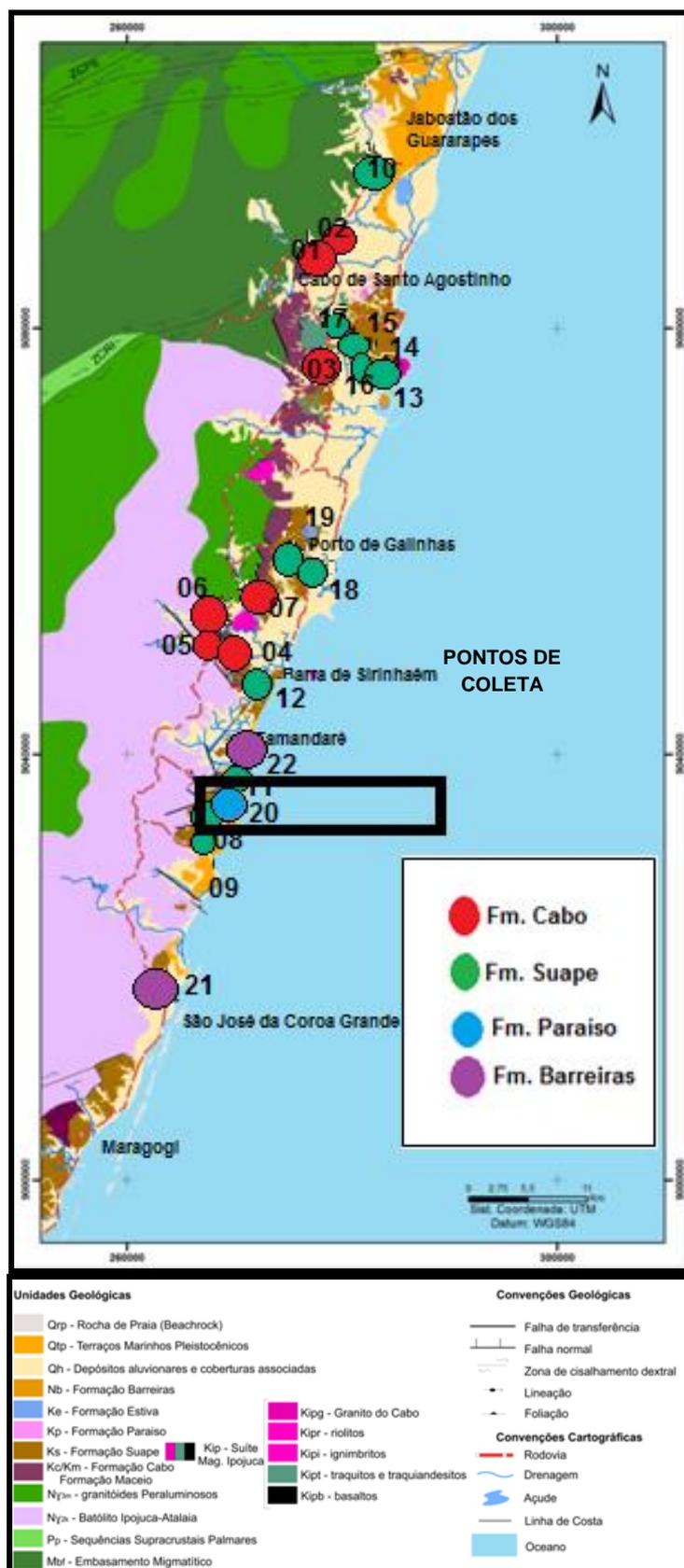
5.1.3 Formação Paraíso

O afloramento PPE-20 localizado na Praia de Guadalupe (Figura 28) mede em média 110 metros de extensão na forma de falésia praial, com aproximadamente 7 metros de altura. Representado por arenitos finos intercalados com siltitos e argilitos. As estruturas presentes estão representadas por marcas onduladas, estratificações cruzadas planar, estratificações plano-paralelas, laminações cruzadas cavalgantes, laminações e paleocanais. Alguns corpos de arenito fino com acamamento plano-paralelo apresentam lineação de partição (Figura 29).

5.1.4 Formação Barreiras

Na Formação Barreiras foram realizadas coletas de amostras em dois pontos (PPE-21 e PPE-22) (Figura 30). No afloramento PPE-21 foram identificados camadas de arenitos de granulação fina a conglomerática, arroxeados e esbranquiçados, com estratificação cruzada tabular, intercalados com níveis sílticos e argilosos, (Figura 29).

O afloramento PPE-22 é composto por intercalações de arenitos, níveis conglomeráticos e camadas de argilitos maciços. Os arenitos são finos a grossos, de coloração branca a rósea com estratificação cruzada tabular. A sequência sedimentar está sobreposto ao embasamento (Figura 30).



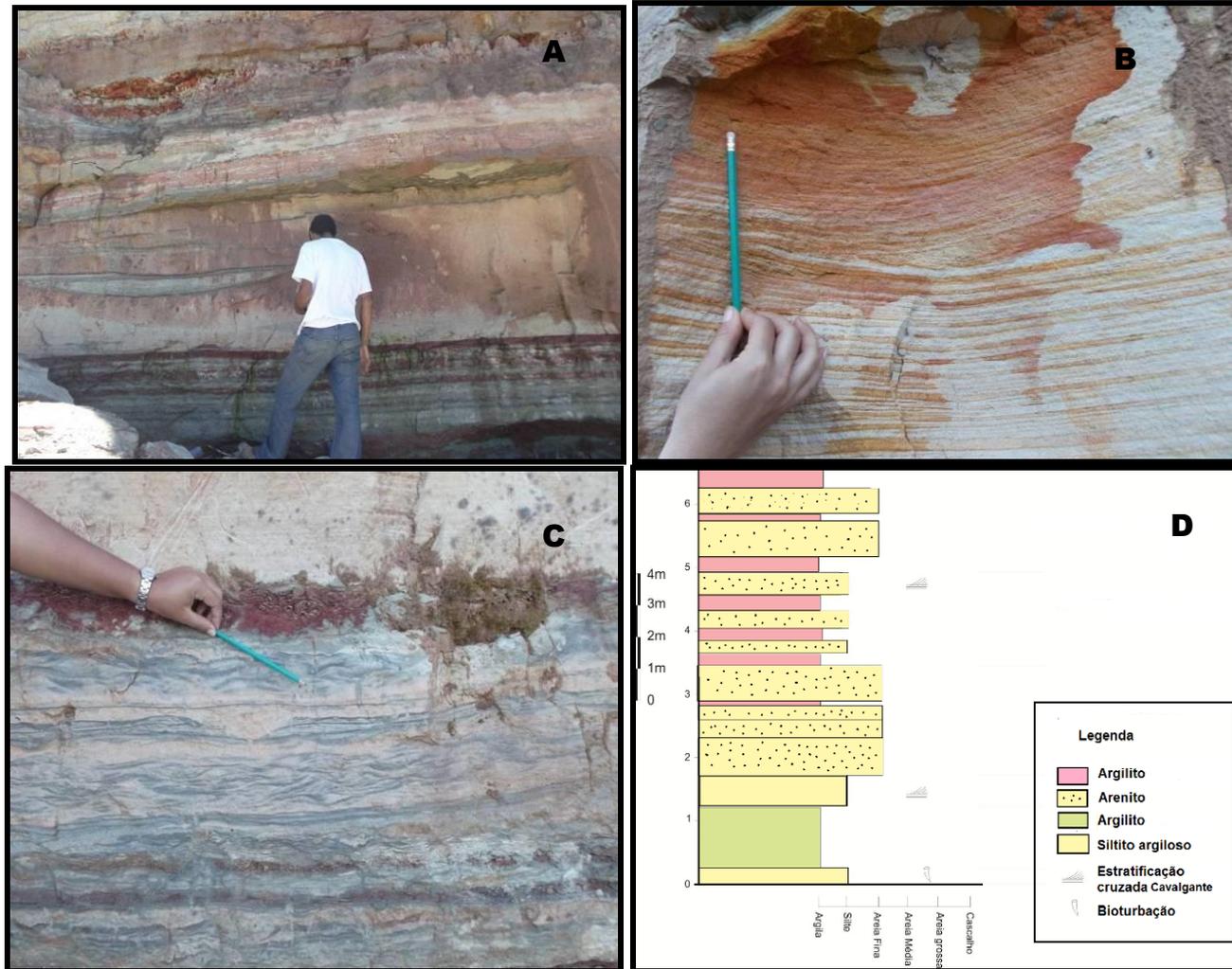


Figura 29. Visão geral do afloramento PPE-20, localizado na Praia de Guadalupe (A); perfil estratigráfico (B); detalhe dos arenitos com acamamento plano-paralelo (C); e laminações cruzadas cavalgantes (D).

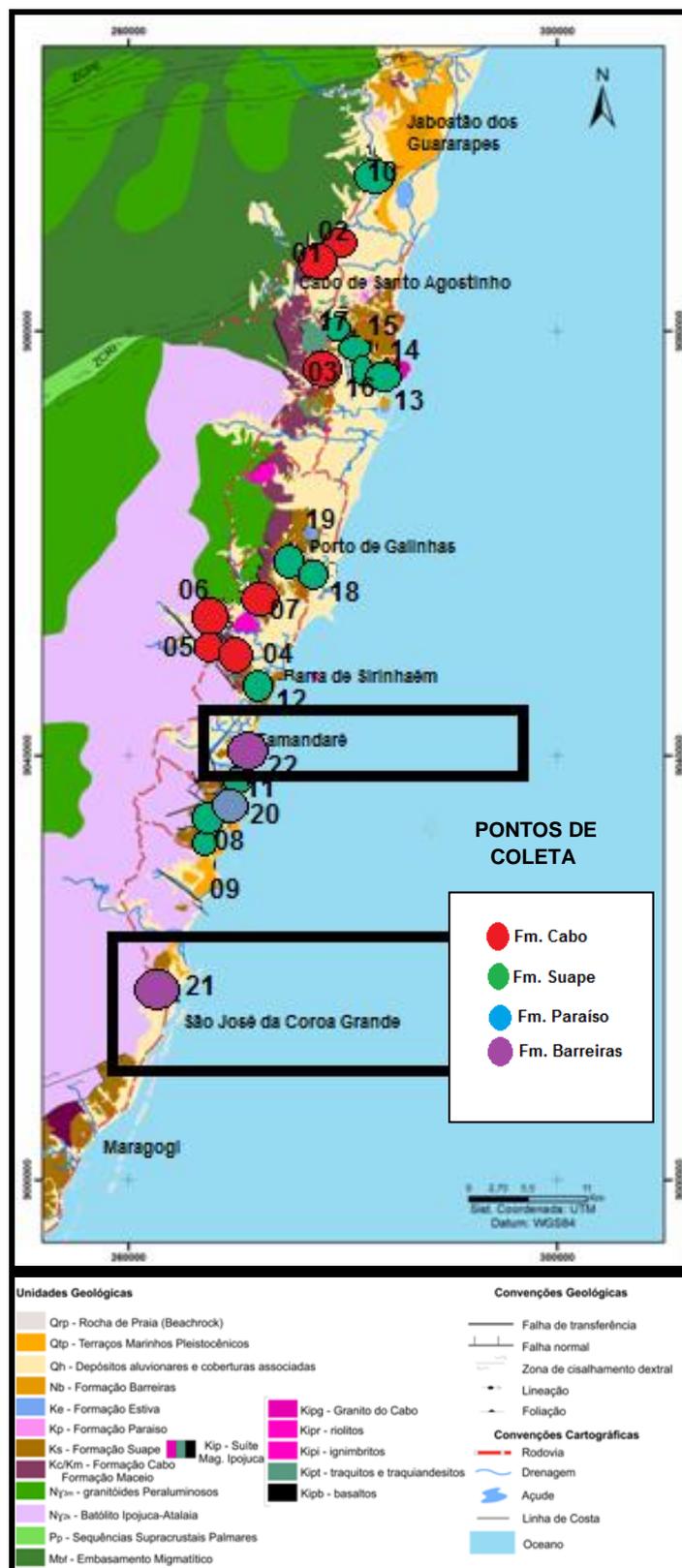


Figura 30. Distribuição dos pontos na Bacia de Pernambuco, Formação Barreiras em destaque (PPE-21 e PPE-22) adaptado de Correia, (2015).

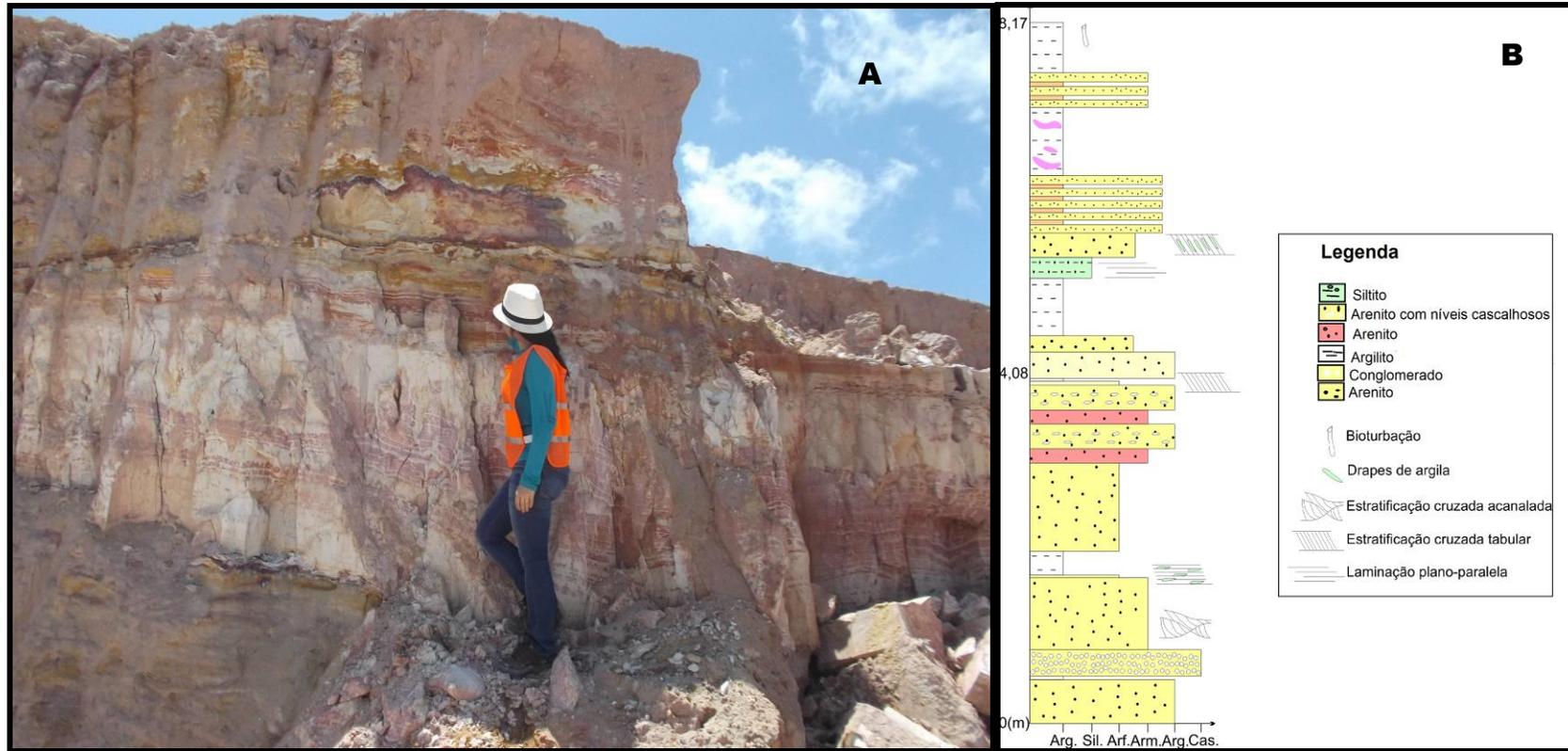


Figura 31. Detalhe do afloramento PPE-21, formado por de arenitos de granulação fina a conglomerática, arroxeadada e esbranquiçada, com estratificação cruzada tabular, intercalados com níveis silticos e argilosos (A). Seção estratigráfica do afloramento (B), adaptado de Santana, (2014).

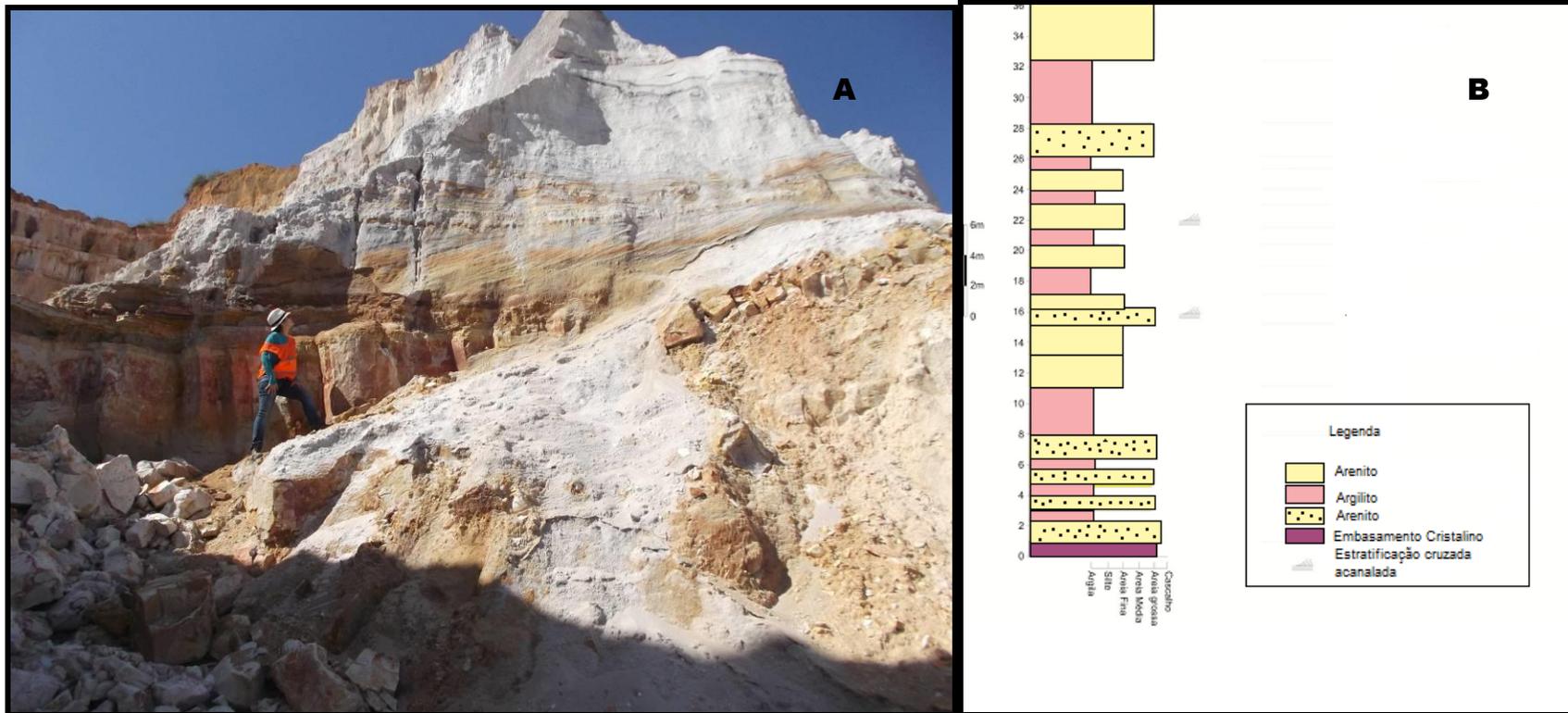


Figura 32. Imagem do afloramento PPE-22, composto por intercalações de arenitos, níveis conglomeráticos e camadas de argilitos maciços (A); perfil estratigráfico (B).

5.2 - Estudos das Associações dos Minerais Pesados e Proveniência

Os minerais das formações investigadas foram separados por amostras e calculadas suas porcentagens (Anexos 01 e 02) (Figura 33). Posteriormente, divididos de acordo com a frequência média e frequência de ocorrência em: Abundantes: magnetita (30-60%), ilmenita (15-40%), muscovita (10-26%), zircão (5-20%) e turmalina (5-15%). Comuns: biotita (2-5%) e granada (2-5%). E os minerais raros: monazita (2-3%), rutilo (4%), espodumênio (2%) e, cianita (2%), (Tabela 04). Para melhor interpretação de sua provável origem, os minerais foram também divididos em duas associações, ígnea e metamórfica (Anexo 03).

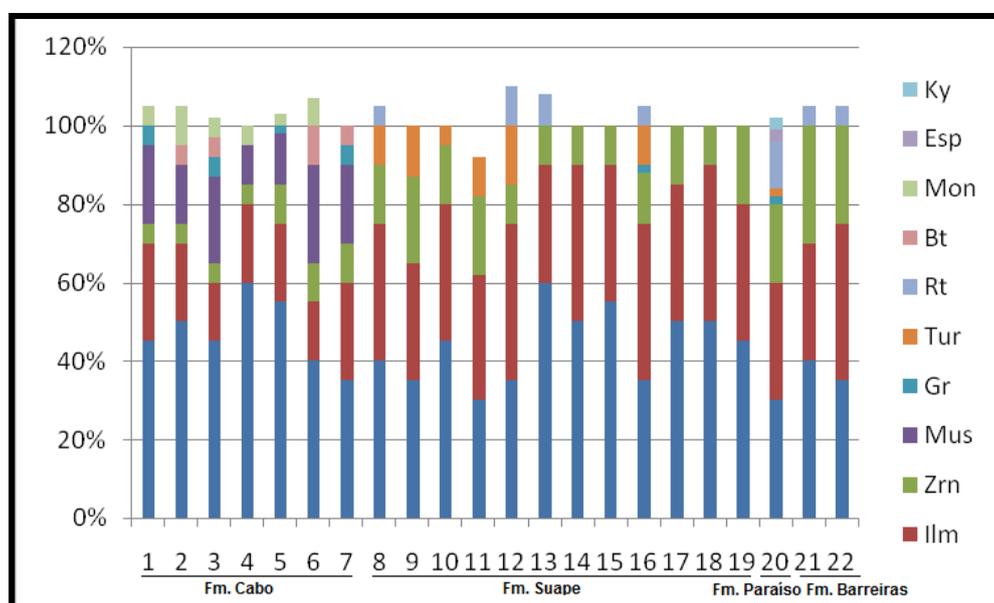


Figura 33. Distribuição das porcentagens de minerais pesados por amostras das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.

Tabela 04. Frequência dos minerais encontrados nas amostras das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras

Mineral	Frequência média (%)	Frequência de ocorrência (%)	de	Frequência classes (%)	de
Magnetita	44	100		Abundante	
Ilmenita	29	100		Abundante	
Zircão	11	100		Abundante	
Muscovita	18	38		Abundante	
Turmalina	10	33		Abundante	
Biotita	6	23		Comum	
Granada	3	33		Comum	
Rutilo	TR	4		Raro	
Espodumênio	TR	4		Raro	
Monazita	TR	4		Raro	
Cianita	TR	4		Raro	

5.2.1 Associação ígnea

5.2.1.1 Magnetita

Mineral abundante em todas as amostras das quatro formações, com percentuais que chegam a 60% em amostras de arenitos das formações Cabo e Suape, respectivamente (PPE-04 e PPE-13), e menores valores de 30% nas amostras da Formação Suape (PPE-11), e Paraíso (PPE-20), (Figura 34). Em amostras de siltito os maiores valores identificados foram nos pontos (PPE-19) da Formação Suape, e (PPE-20) da Formação Paraíso, alcançando 30%. Em argilitos os valores chegam a 14% na Formação Suape (PPE-12), (Anexo 2). Quanto aos aspectos físicos apresentam coloração preta e/ou marrom, geralmente anedral e alguns com hábito octaédrico, seus grãos medem em média de 0,25 mm a 0,5 mm.

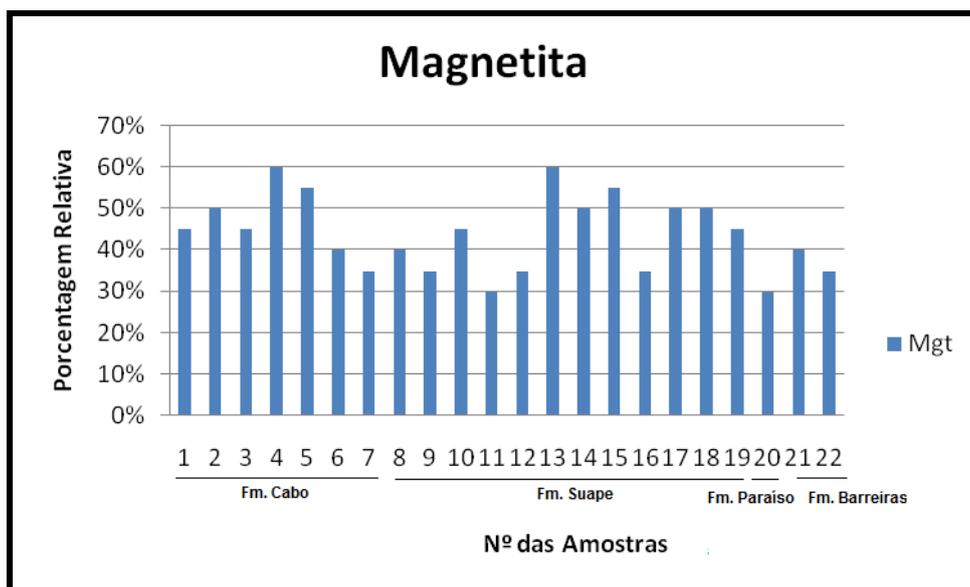


Figura 34. Gráfico das proporções de Magnetita (%), encontrada nas amostras das formações Cabo (PPE-01 até PPE-07), Suape (PPE-08 até PPE-19), Paraíso (PPE-20) e Barreiras (PPE-21 e PPE-22).

5.2.1.2 Ilmenita

O segundo mineral mais abundante que ocorre em todas as amostras das quatro formações sedimentares. Os valores mais elevados foram registrados na Formação Suape (30-40%), esses valores oscilam entre mais baixos e mais

altos nessa formação (Figura 35). Menores valores são registrados na Formação Cabo, com percentuais de 15% (PPE-03 e PPE-06). Apresentam coloração preto, brilho opaco e hábito tabular, alguns sem formas definidas e outros hexagonais. Nas imagens observam-se tamanhos variados desse mineral de 0,25 mm a 1,0 mm, (Figura 36).

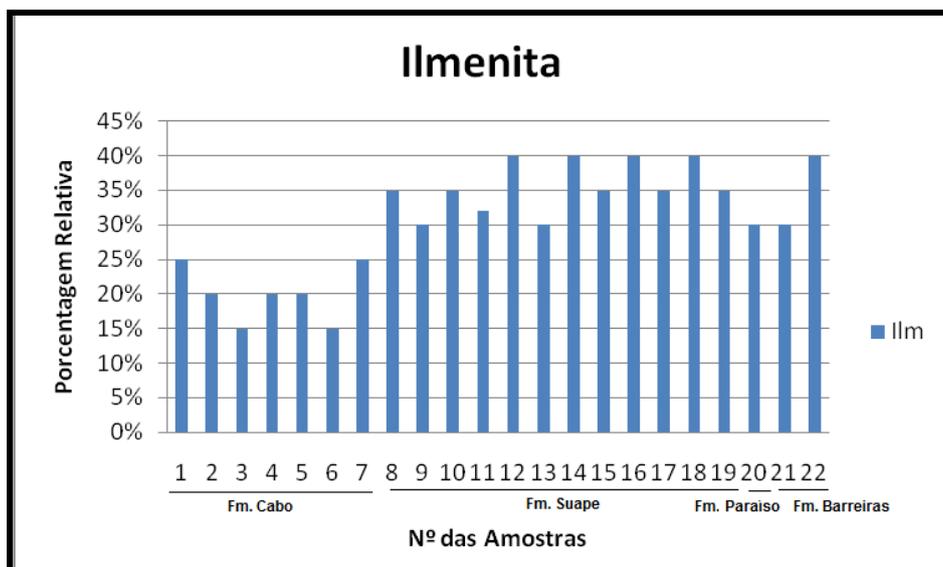


Figura 35. Gráfico das proporções de Ilmenita (%), encontrada nas amostras formações Cabo (PPE-01 até PPE-07), Suape (PPE-08 até PPE-19), Paraíso (PPE-20) e Barreiras (PPE-21 e PPE-22).



Figura 36. Minerais em grãos de ilmenita da Formação Suape (amostra PPE-16), tabulares, sem formas definidas e/ou hexagonais de coloração preto.

5.2.1.3 Zircão

Mineral encontrado em todas as amostras e considerado abundante. Os valores são altos em amostras de siltito (PPE-11 e PPE-19), chegando a 47% do total, e em amostras de arenitos nas formações Suape (PPE-09, PPE-11, PPE-19), Paraíso (PPE-20), e Barreiras (PPE-21 e PPE-22), chegando a 20% do total dos minerais investigados (Figura 37). Os menores valores são encontrados na Formação Cabo (PPE-02, PPE-03, PPE-04, PPE-05).

Na Formação Cabo apresentam grande variedade morfológica. Foram identificados primeiramente grãos prismáticos bipiramidais de coloração rosa (Z1), que medem em média 0,5 mm (60-70%) dos grãos encontrados, (Figuras 38 e 39). Subordinadamente são encontrados grãos prismáticos bipiramidais de coloração creme e marrom (Z2), medindo 0,5 a 1,0 mm (10-20%), (Figuras 40 e 41), alguns com terminações arredondadas (Figura 42).

O terceiro grupo corresponde a grãos em forma de prisma, bipiramidais, de coloração rosa (Z5), medindo 0,5 mm em média (5-10%), (Figura 43). E por último, foram encontrados grãos em forma de prisma, em bipirâmide, de coloração marrom, (0-5%), (Figura 44); esses últimos grãos apresentaram aspectos de desgaste físicos (fraturas conchoidais), (Figura 45), e químicos (aspecto de dissolução), (Figuras 46 e 47). Foram identificados por WDS e EDS, elementos traços como Hf, Th e U (Figura 48).

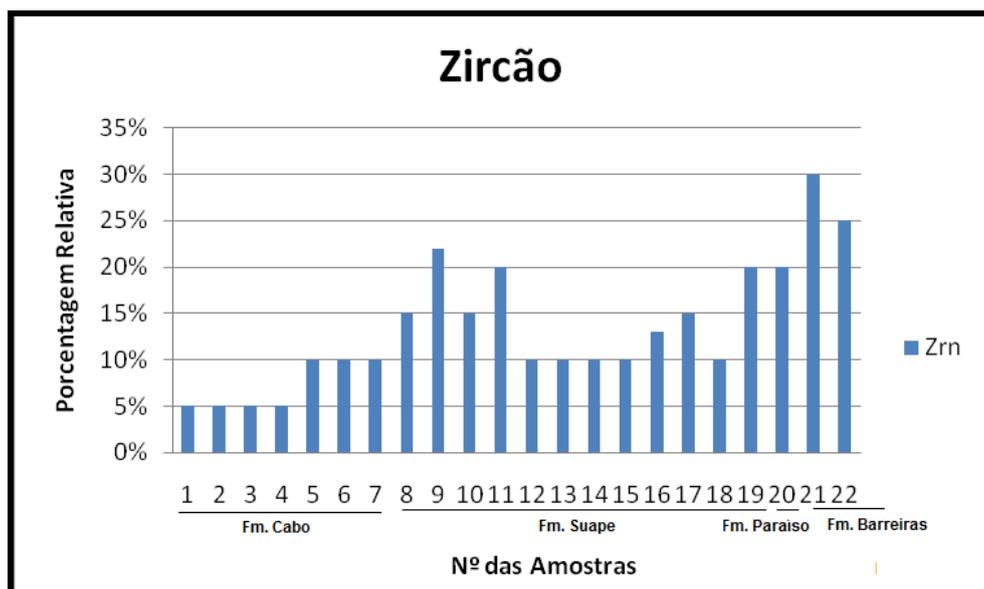


Figura 37. Gráfico das proporções de zircão (%), encontrada nas amostras das formações Cabo (PPE-01 à PPE-07), Suape (PPE-08 à PPE-19), Paraíso (PPE-20) e Barreiras (PPE-21 e PPE-22).

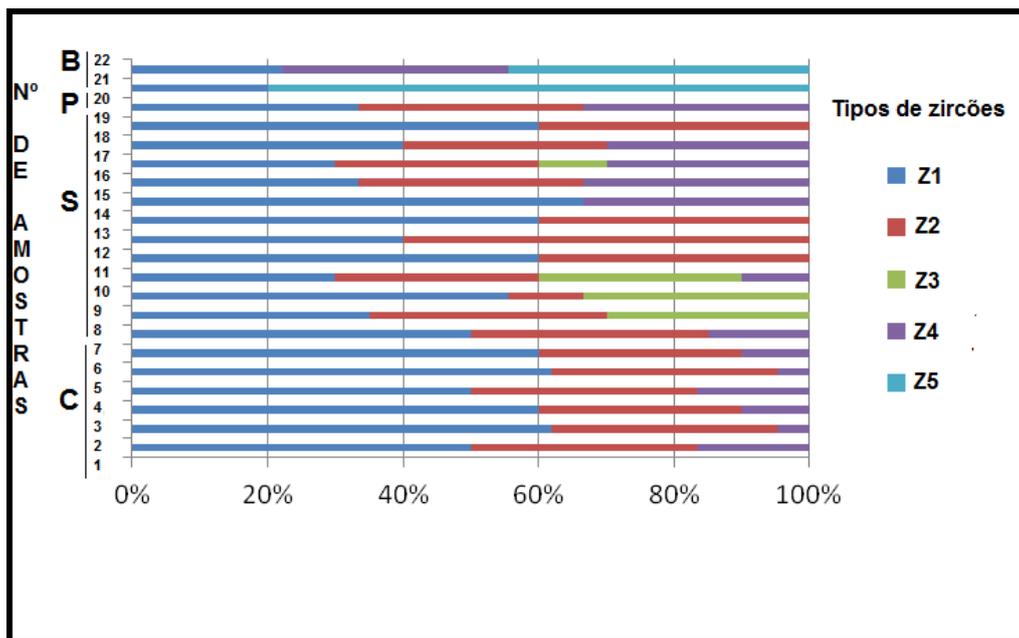


Figura 38. Distribuição das principais morfologias dos zircões encontrados nas formações Cabo (C), Suape (S), Paraíso (P) e Barreiras (B). Z1(Zircões prismáticos com terminações bipiramidais rosa); Z2 (Zircões prismáticos bipiramidais translúcido de cor creme e marrom), Z3(Zircões prismáticos transparentes), Z4 (Zircões em formas ovóides de coloração escura) e Z5(Zircões prismáticos com terminações arredondadas).



Figura 39. Minerais em grãos de zircão da Formação Cabo (amostra PPE-01), prismáticos, apresentando coloração rosa ou transparente e terminações bipiramidais.

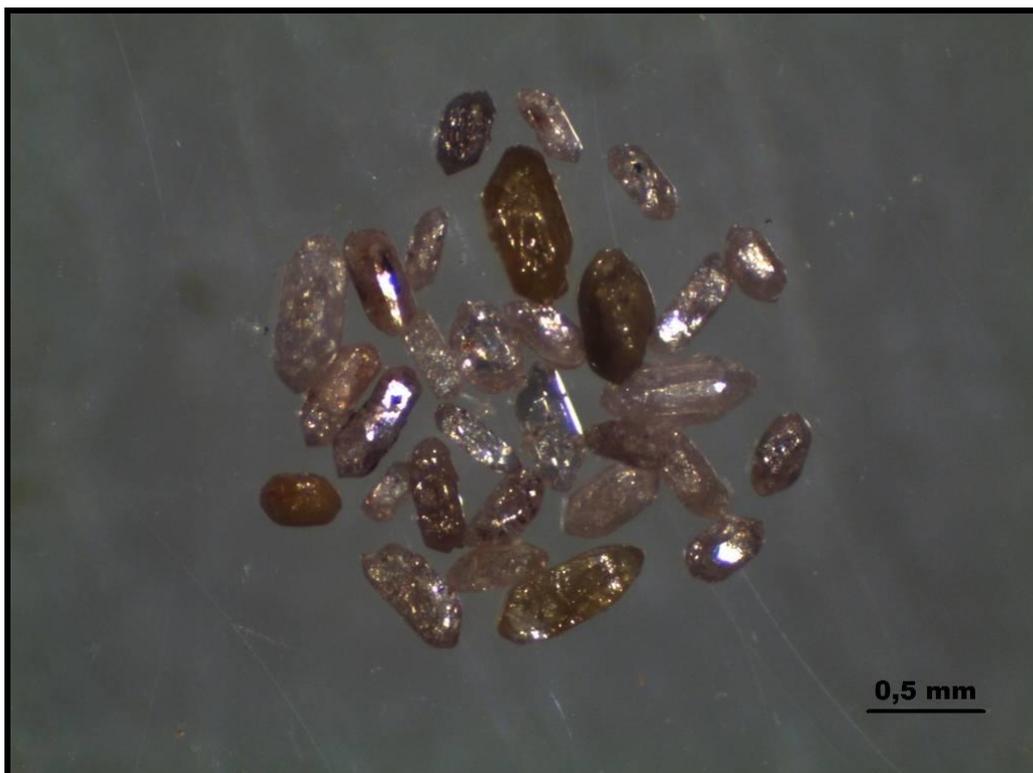


Figura 40. Minerais em grãos de zircão da Formação Cabo (amostra PPE-01), prismáticos ou em prismas de coloração rosa, creme ou marrom, com terminações bipiramidais.

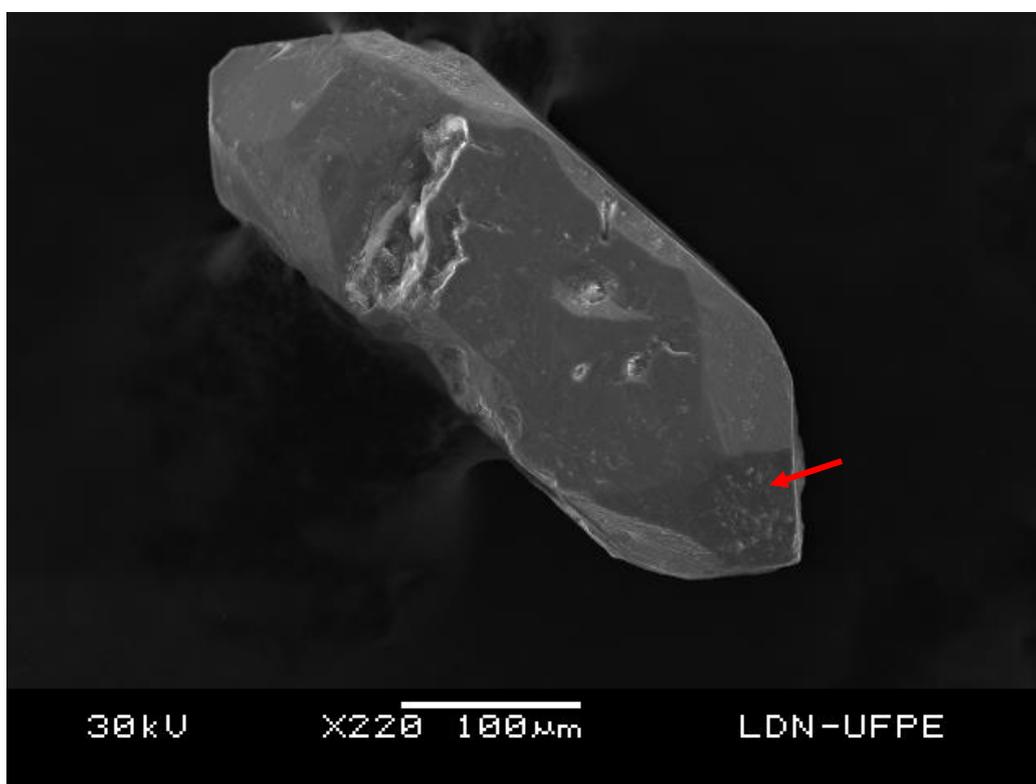


Figura 41. Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo. Grão prismático, com terminações bipiramidais (seta vermelha).

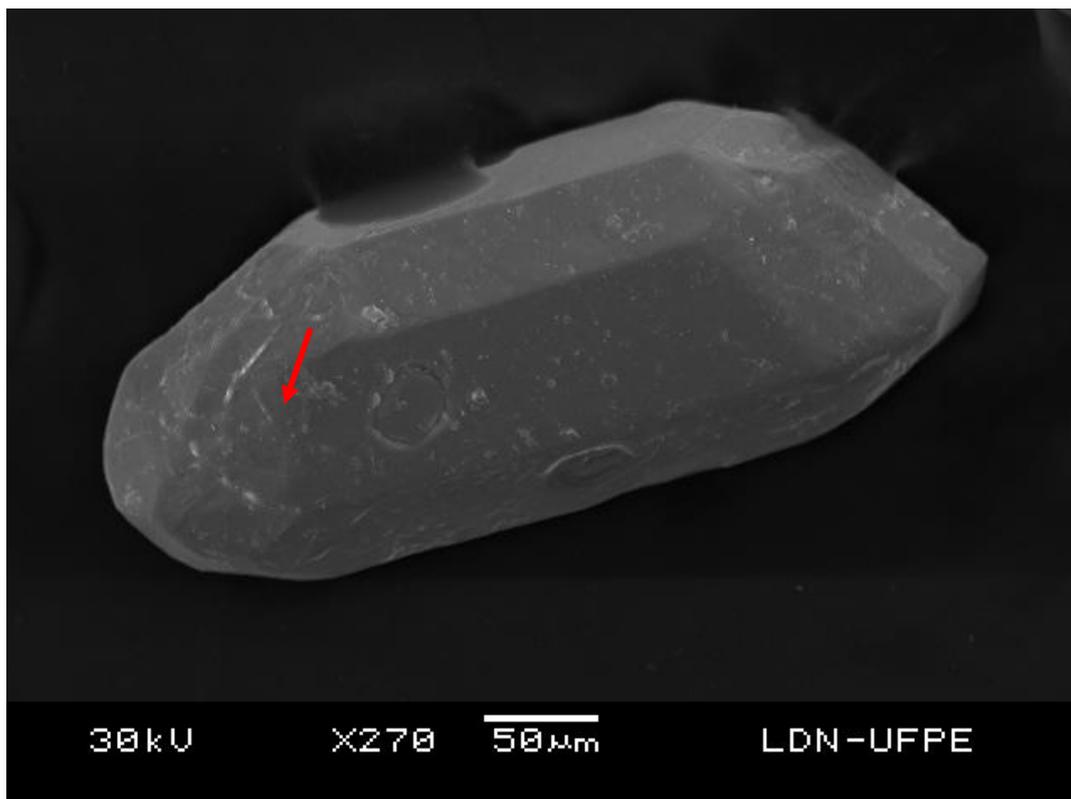


Figura 42. Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo. Grão prismático, com terminação arredondada (seta vermelha).

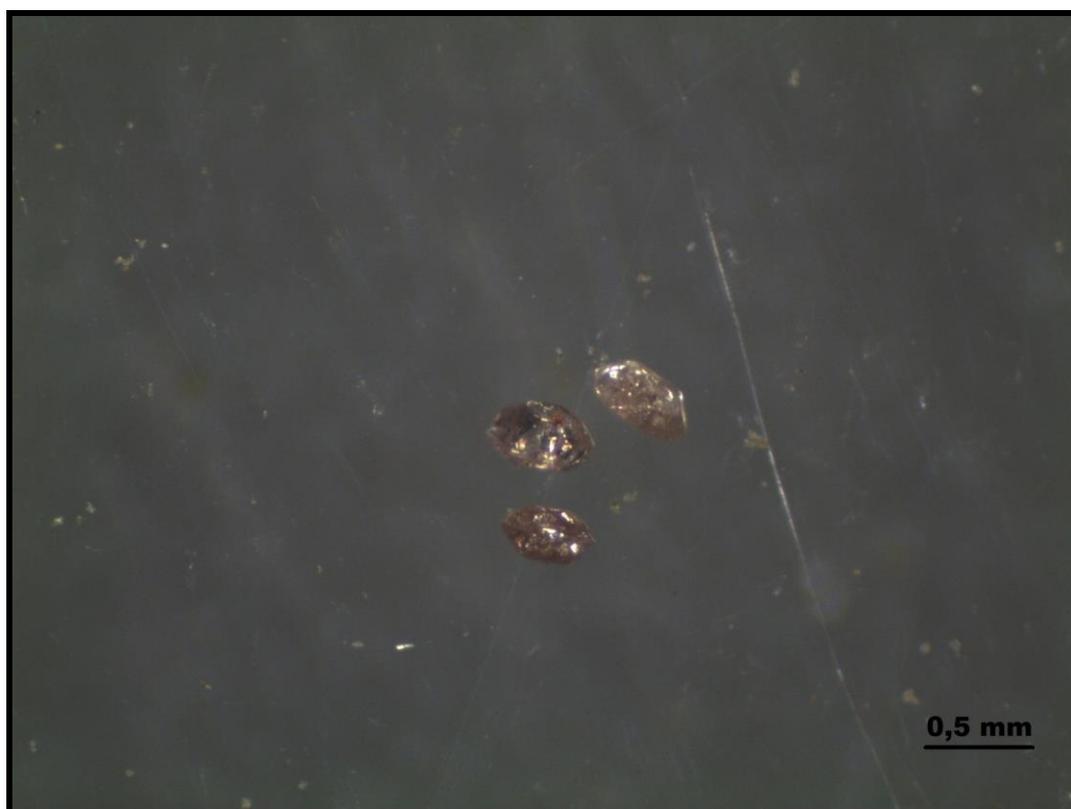


Figura 43. Minerais em grãos de zircão da Formação Cabo (amostra PPE-01), em prisma, com brilho intenso de coloração rosa.

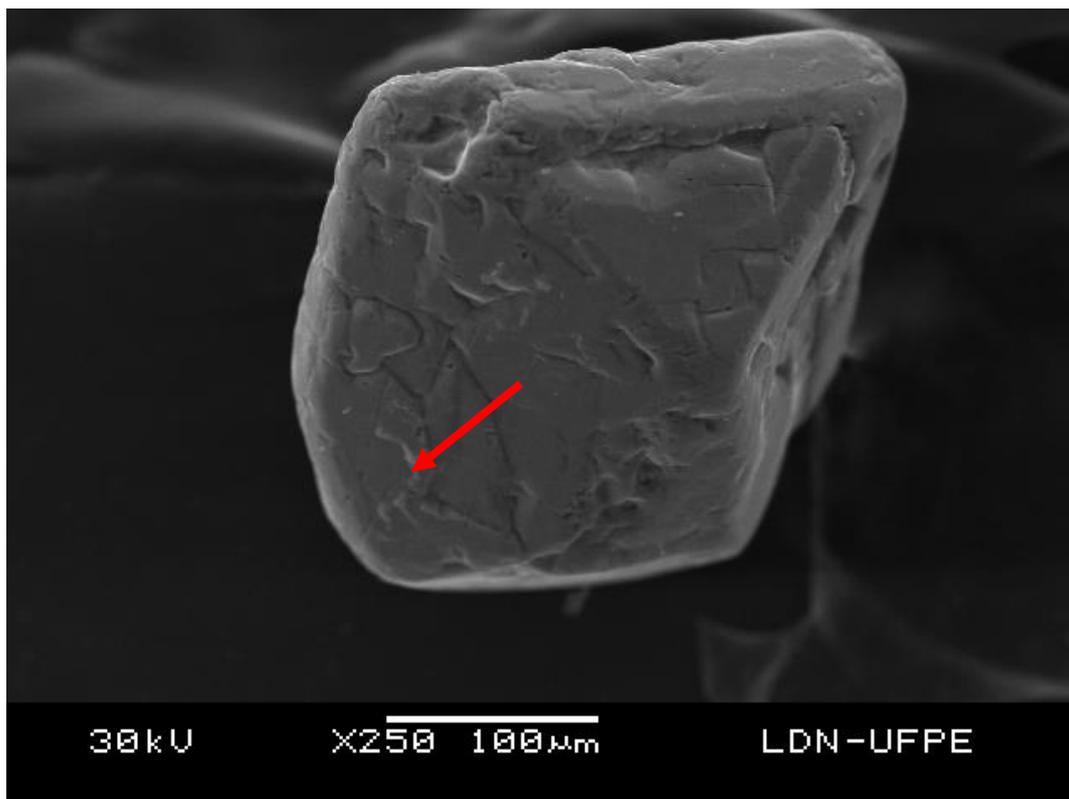


Figura 44. Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo. Grão em prisma, com terminação arredondada (seta vermelha).

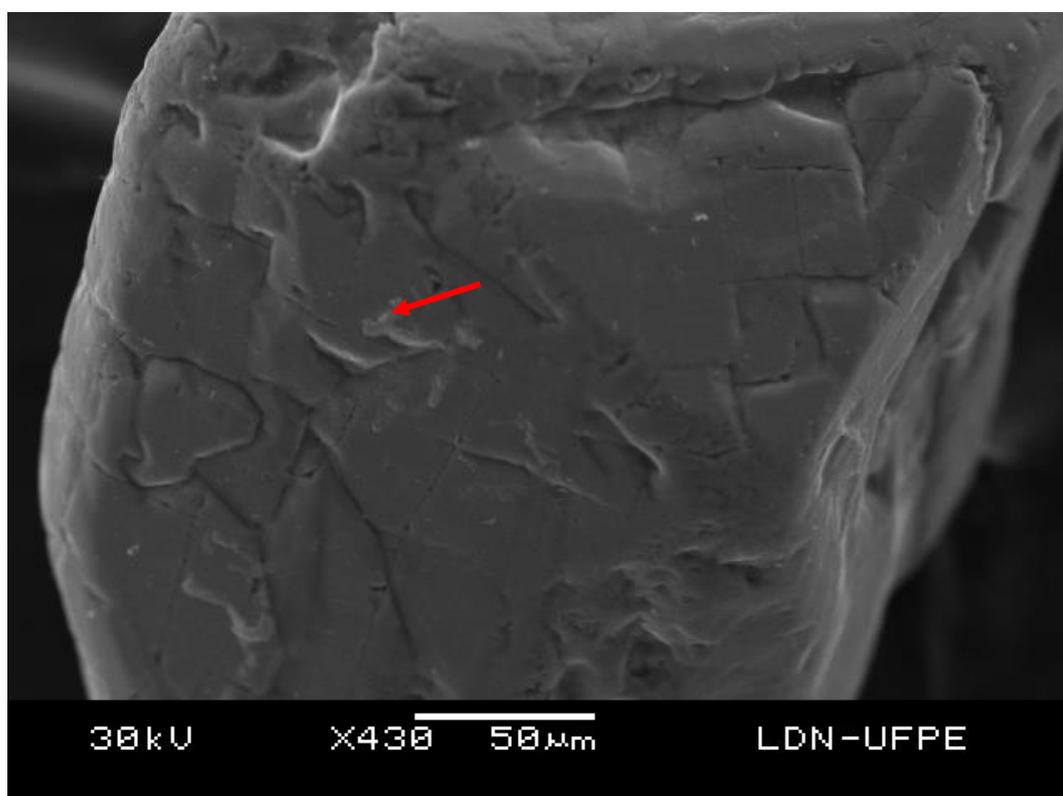


Figura 45. Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo; detalhe de fratura conchoidal (seta indicando).

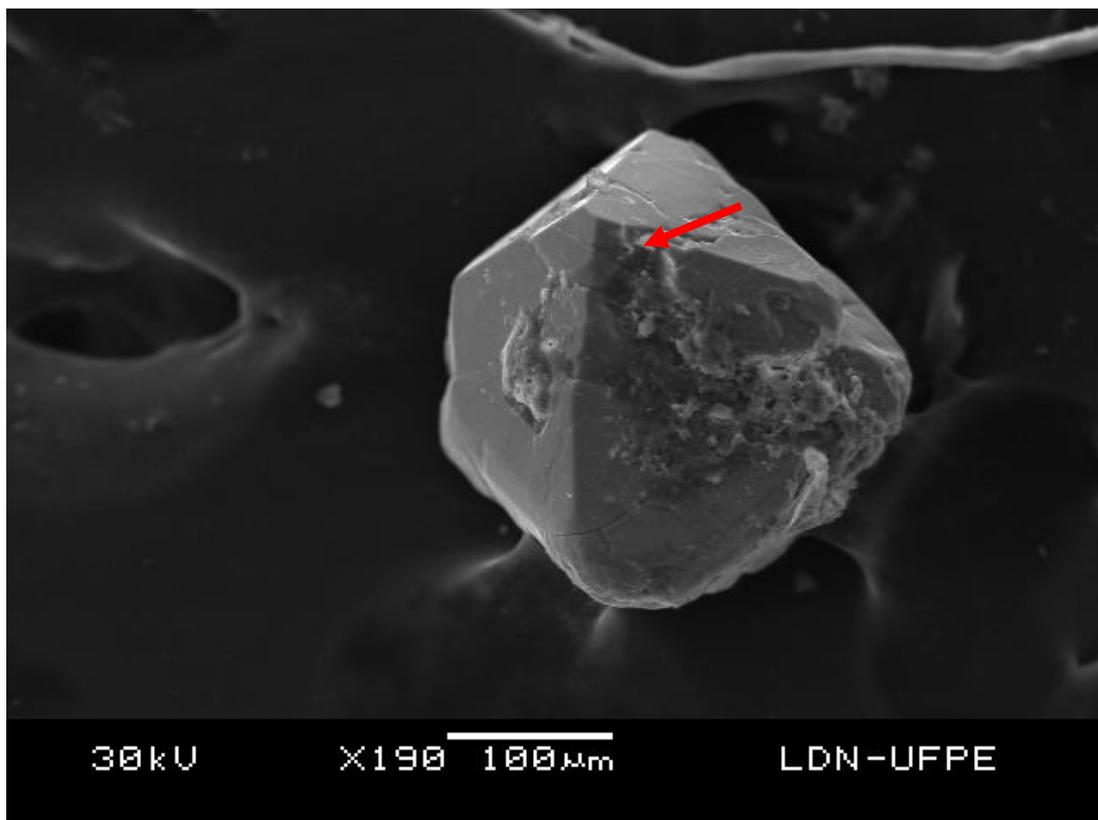


Figura 46. Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo: Prisma com terminações bipiramidais (seta indicando).

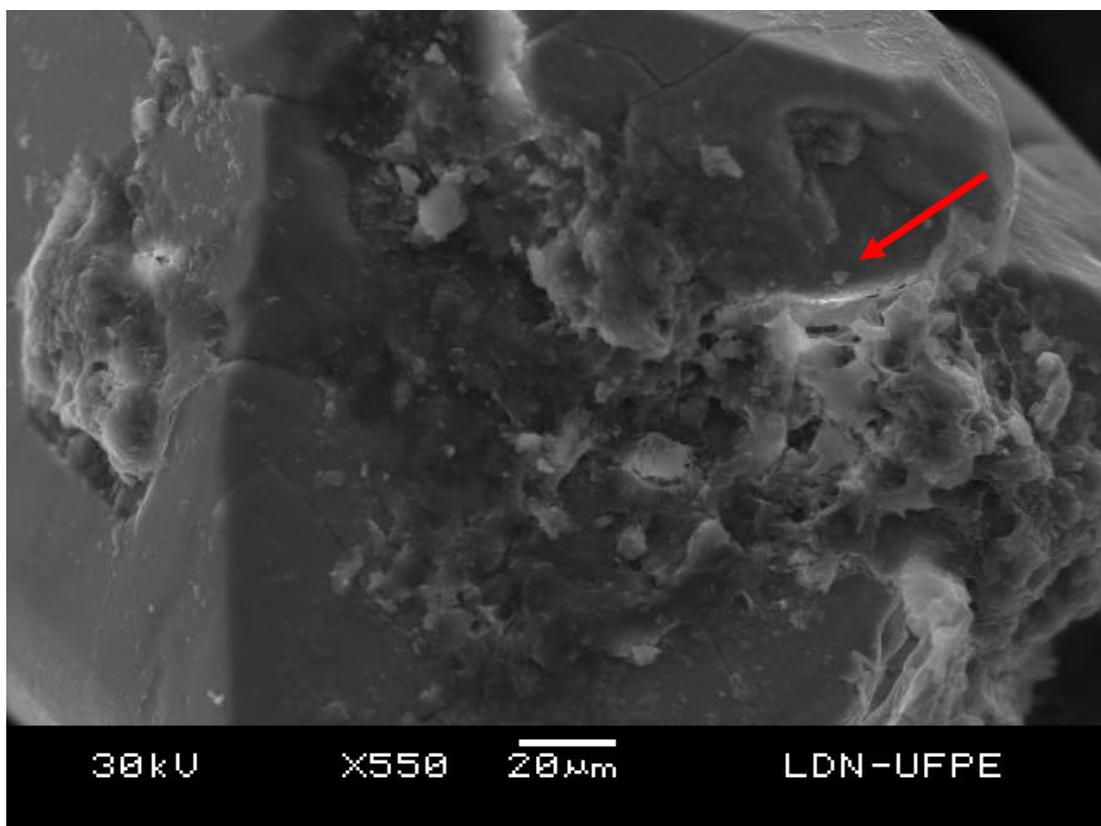


Figura 47. Imagem do MEV de zircão da Formação Cabo, em detalhe superfície com desgaste químico, aspecto de dissolução (seta indicando).

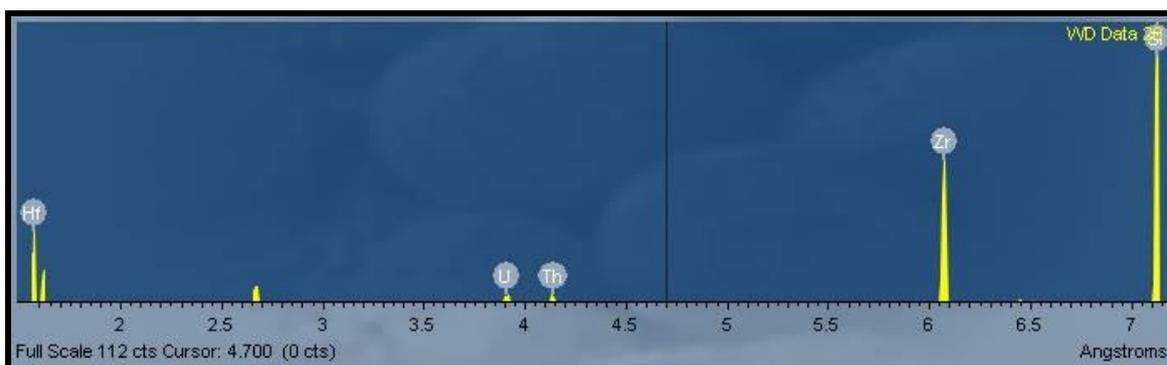


Figura 48. Espectrograma por WDS de zircão da Formação Cabo (amostra PPE-01), detectado Hf, U e Th.

Os zircões da Formação Suape, apresentam hábito prismático, com terminações bipiramidais de coloração rosa (Z1) e transparente (Z3), chegando a 60% do total (Figuras 49 e 50), as formas apresentam-se mais preservadas, no entanto ainda observam-se aspectos de dissolução e estruturas cavernosas, (Figura 51). Em menor proporção, (30-40%), encontram-se os zircões de coloração creme (Z2), e os zircões de formas ovóides, (Z4). Essa formação apresenta maior porcentagem dos grãos de minerais pesados representados por zircão. Em sua análise química, são encontrados picos mais baixos de háfnio (Figura 52).

Os zircões da Formação Paraíso são encontrados nas amostras em grãos prismáticos com terminações arredondadas (Z4, Z5), chegando a 80%, e raros com terminações bipiramidais (Z1), (Figuras 53 e 54). São de coloração rosa, e possuem menor grau de transparência quando comparados aos zircões encontrados nas formações anteriores. São encontrados também, em forma subesférica ou ovóide, morfologia típica de ambientes metamórficos (Figuras 55 e 56).

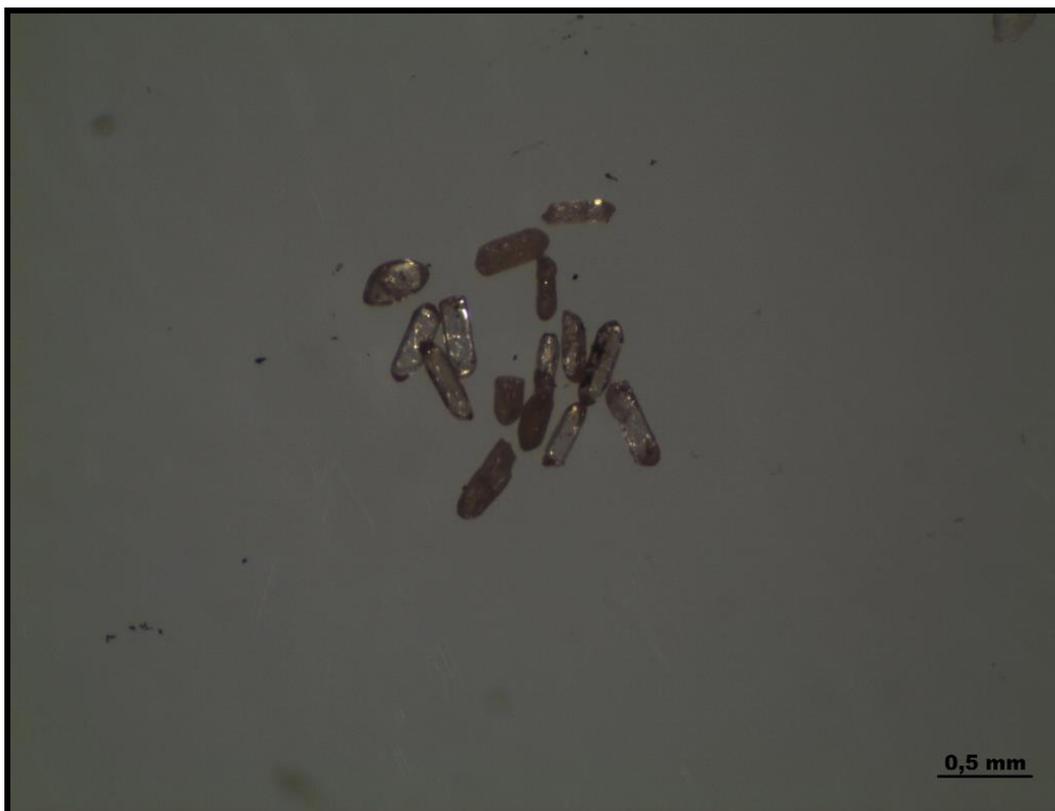


Figura 49. Minerais em grãos de zircão da Formação Suape (amostra PPE-08C), prismáticos/aciculares de coloração rosa transparente, e com terminações bipiramidais.

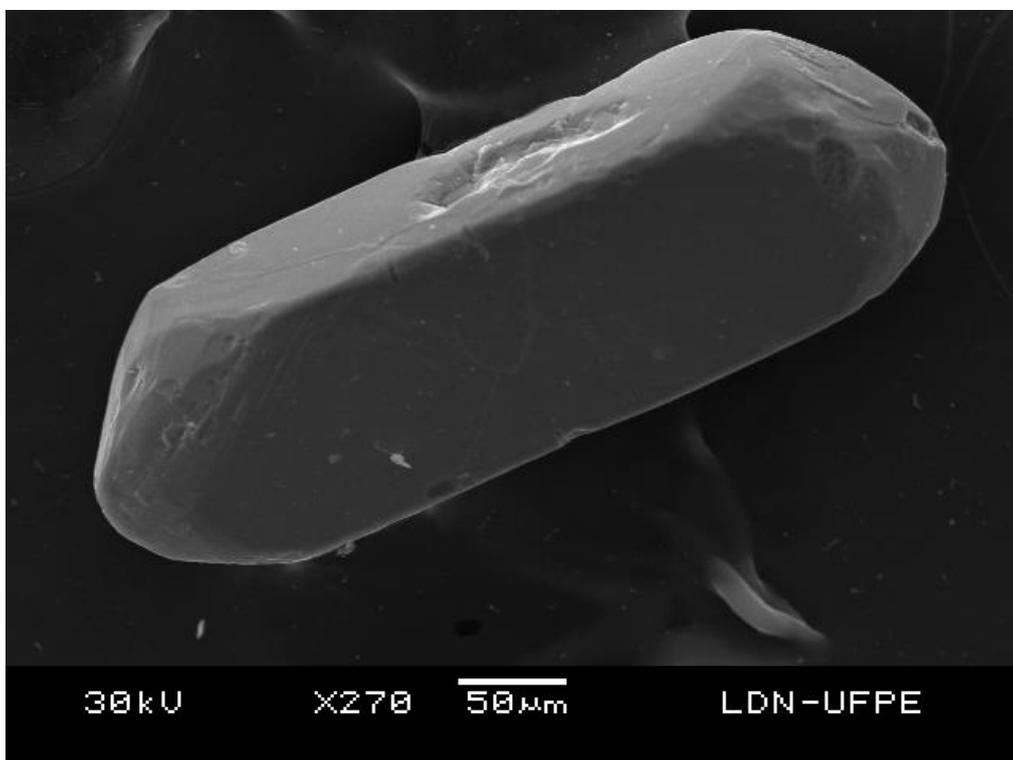


Figura 50. Imagem do MEV de zircão prismático da Formação Suape.

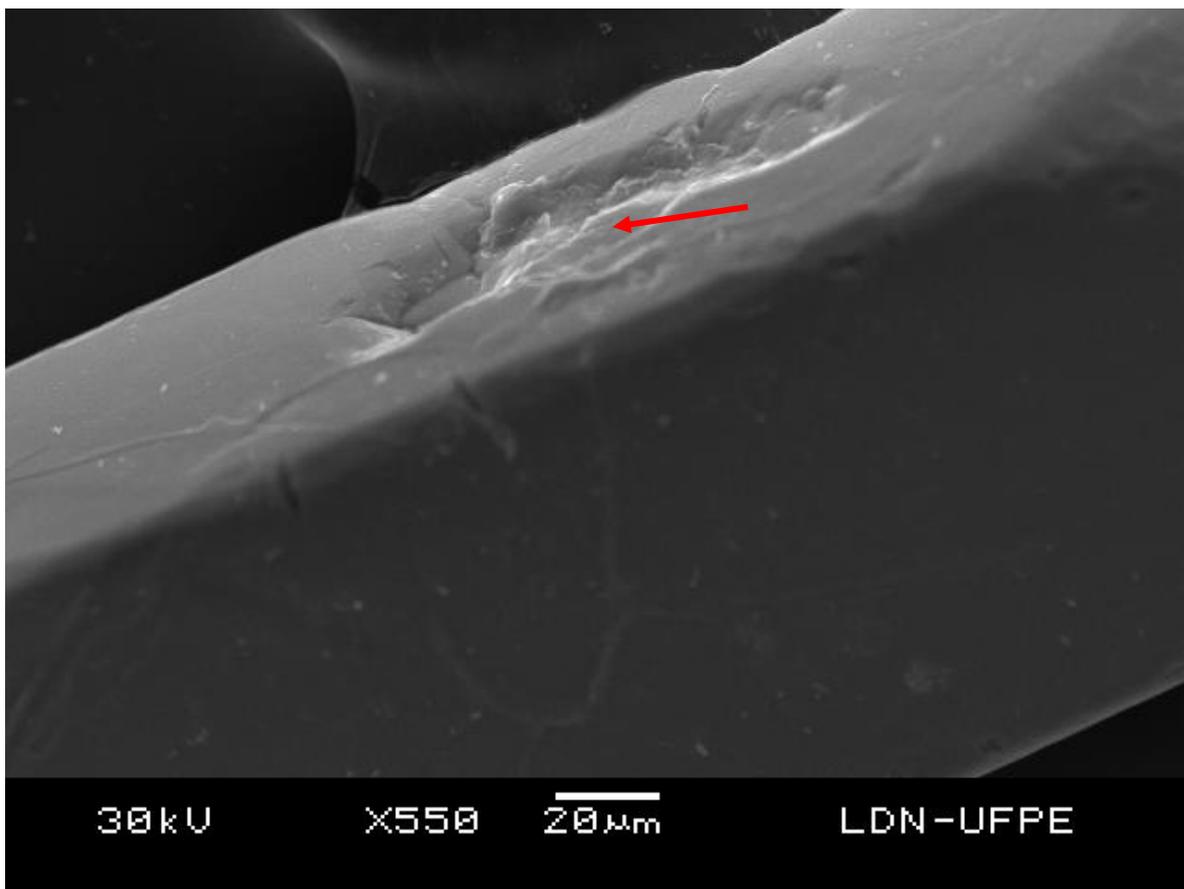


Figura 51. Imagem do MEV de zircão da Formação Suape, detalhe de estrutura cavernosa, indicativo de ataque químico.

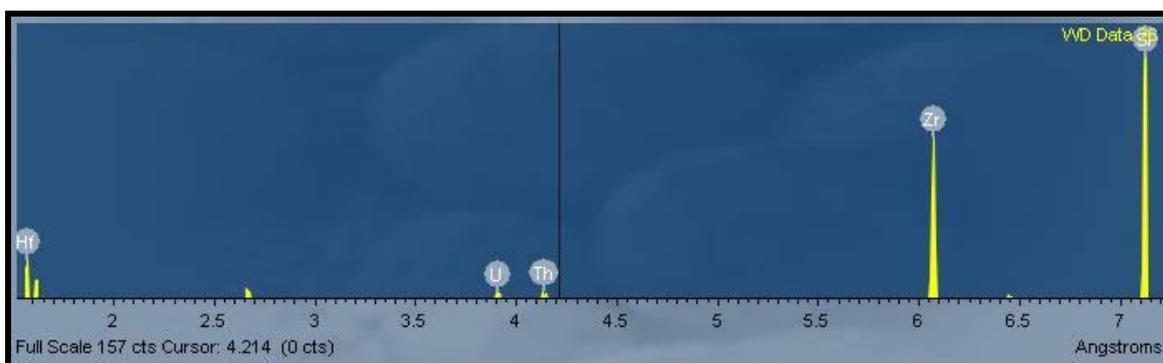


Figura 52. Espectrograma por WDS de zircão da Formação Suape (amostra PPE-08), apresentando picos mais baixos de Hf e presença de U e Th, em sua composição.

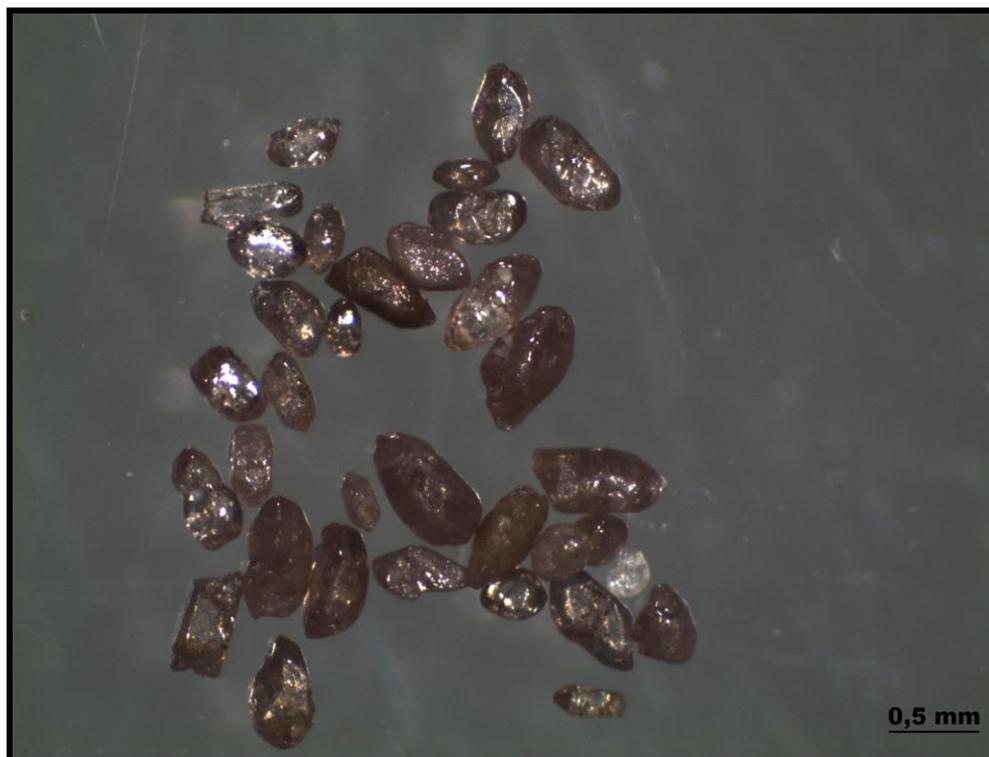


Figura 53. Minerais em grãos de zircão da Formação Paraíso (amostra PPE-20), de coloração rosa prismático, com terminações bipiramidais desgastadas.

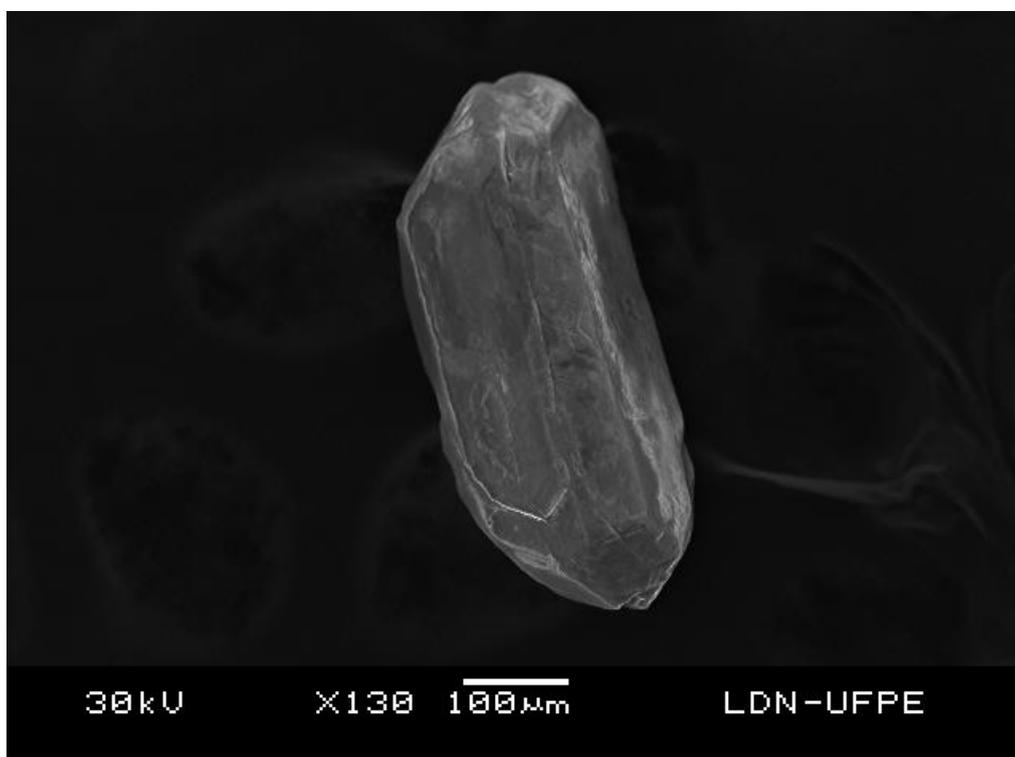


Figura 54. Imagem do MEV de zircão da Formação Suape, detalhe de estrutura cavernosa, indicativo de ataque químico.

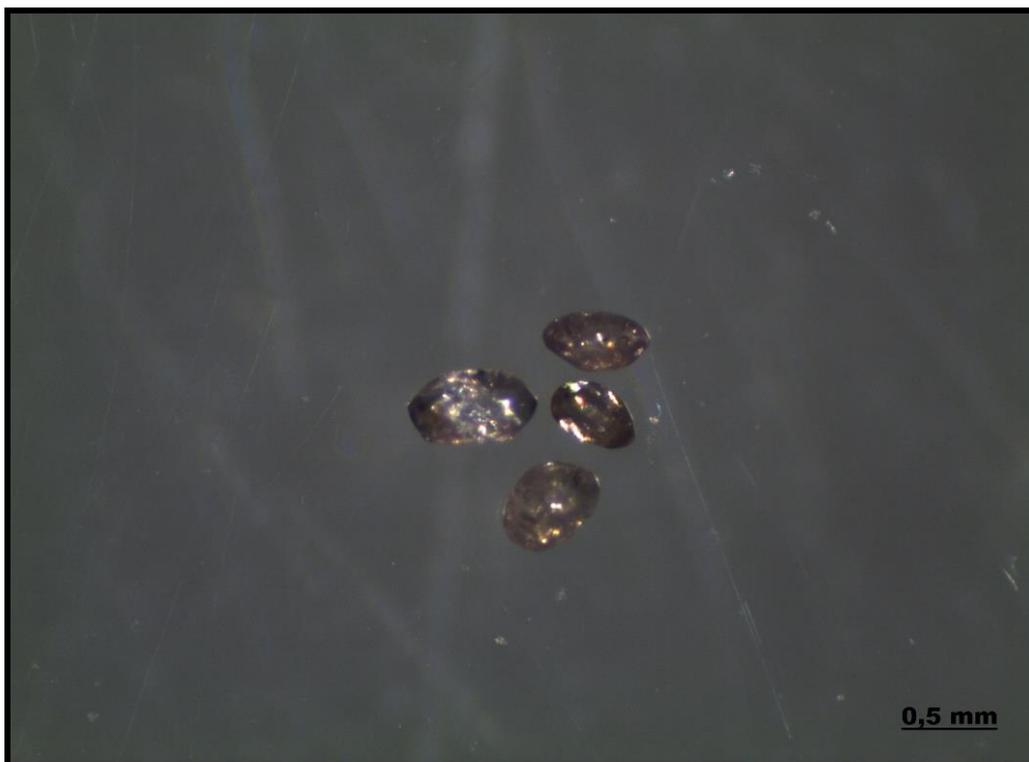


Figura 55. Minerais em grãos de zircão da Formação Paraíso (amostra PPE-20), de coloração rosa em prismas, com terminações arredondadas.

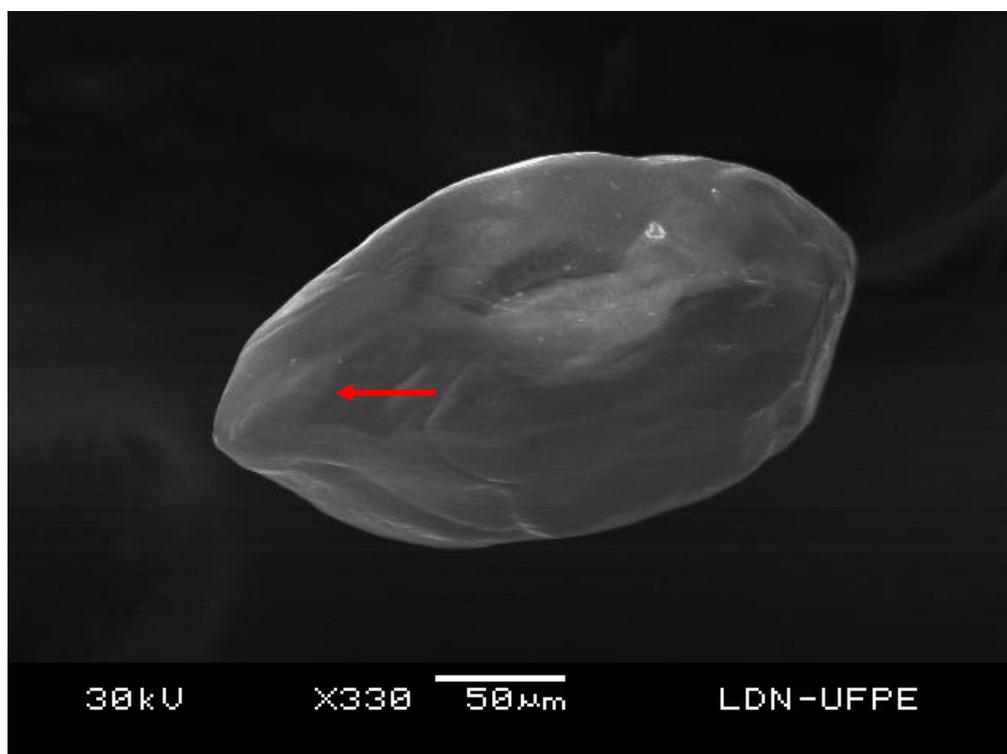


Figura 56. Imagem do MEV de zircão da Formação Paraíso, detalhe da superfície de aspecto polido e uma das terminações ainda marcada por uma face da antiga pirâmide (seta vermelha).

Os zircões da Formação Barreiras apresentaram hábito prismático, com terminações bipiramidais (Z5) chegando a 70% do total. Em menor proporção, encontram-se os zircões de coloração creme com terminações arredondadas (Z2) e zircões ovóides (Z4), no total de 20 a 30% (Figura 57).



Figura 57. Minerais em grãos de zircão da Formação Barreiras (amostra PPE-21), prismáticos, com terminações bipiramidais de coloração rosa, marrom e creme.

5.2.1.4 Turmalina

São encontradas com frequência sendo considerado um mineral abundante nas amostras da Formação Suape, chegando a valores de mais 15% (PPE-12) em amostras de arenito, e altos valores em amostras de siltito (PPE-8A e PPE-09) chegando a 34% (Figura 58), com cores que variam do castanho ao castanho esverdeado (Figura 59).

Apresentam hábito prismático, com grãos que medem 0,5 a 1,0 mm, e grãos em prismas, que medem 0,5 mm, esses são encontrados mais comumente na Formação Paraíso. Suas análises do MEV, observam-se aspectos desgastados nas bordas e presença de sucros, profundos longitudinais,

(Figuras 60 e 61). Quanto as análises químicas, as turmalinas apresentaram elevados picos de Fe e menores picos de Mg por EDS.

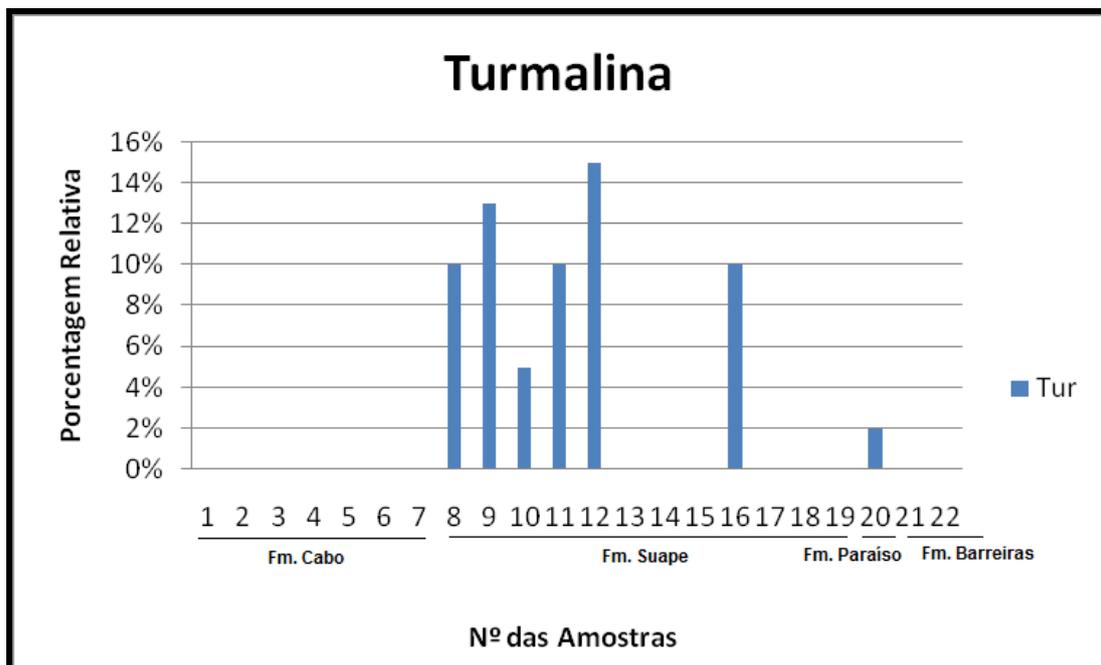


Figura 58. Gráfico das proporções de turmalina (%), encontradas nas amostras das formações Suape (PPE-08, PPE-09, PPE-10, PPE-11 e PPE-16), Paraíso (PPE-20).

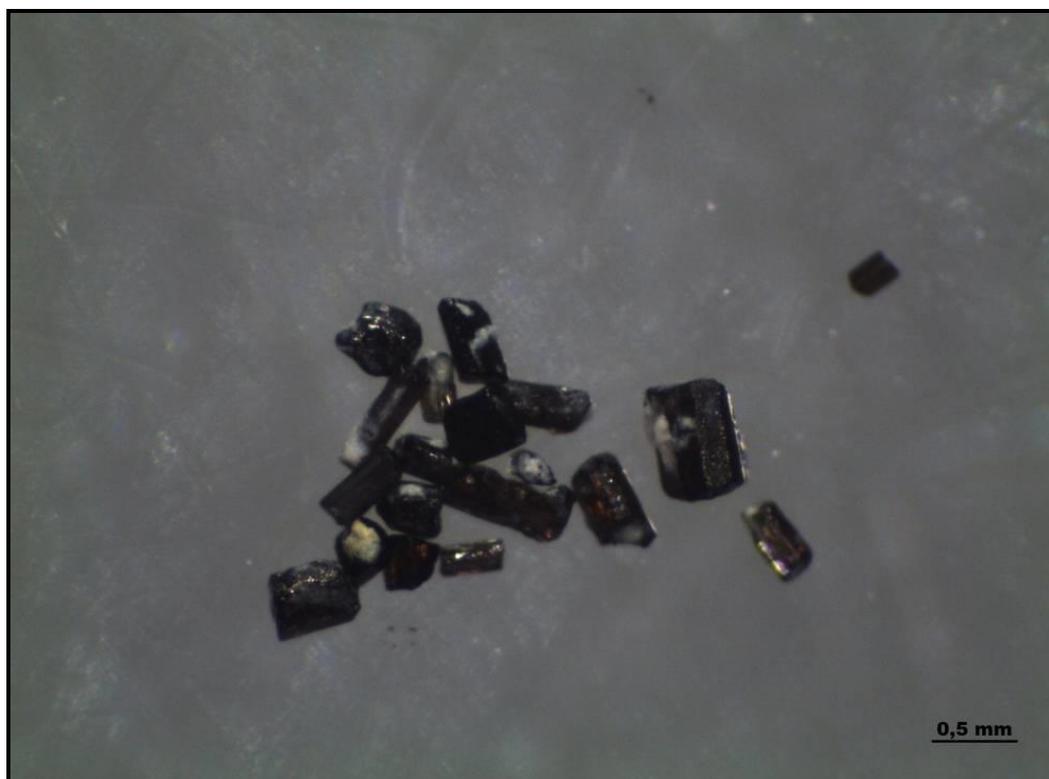


Figura 59. Minerais em grãos de turmalina da Formação Suape (amostra PPE-8A), de coloração marrom e hábito prismático.

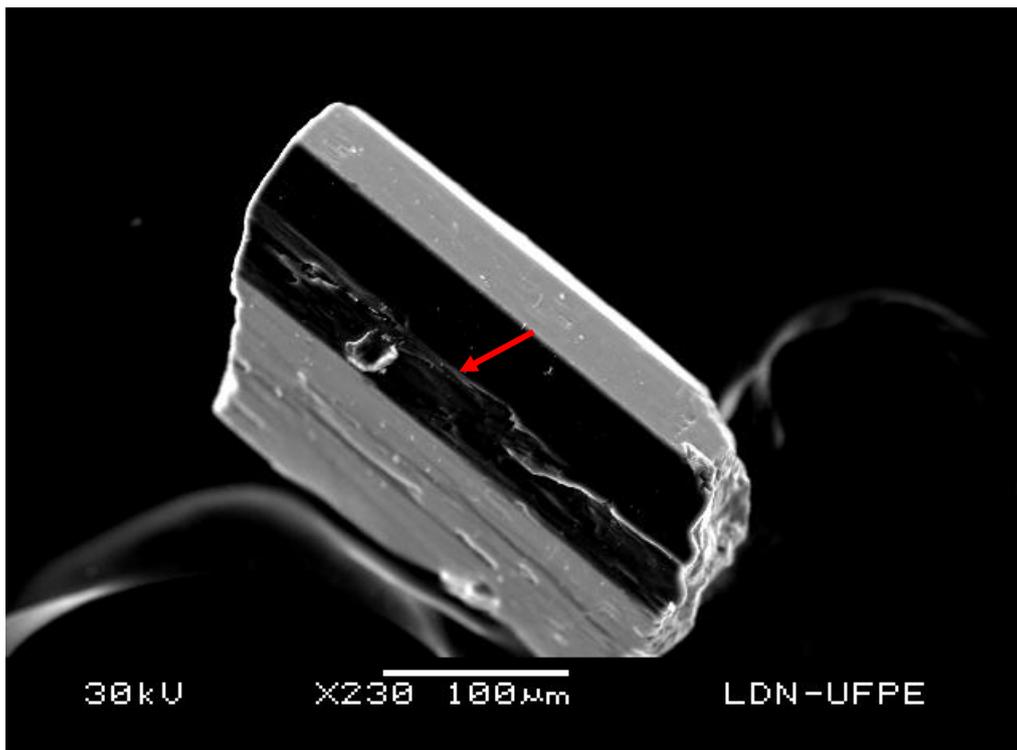


Figura 60. Imagem do MEV de turmalina da Formação Suape (amostra PPE-08A), grão prismático, apresentando estrias transversais, sulcos superficiais (seta vermelha) e terminações desgastadas.

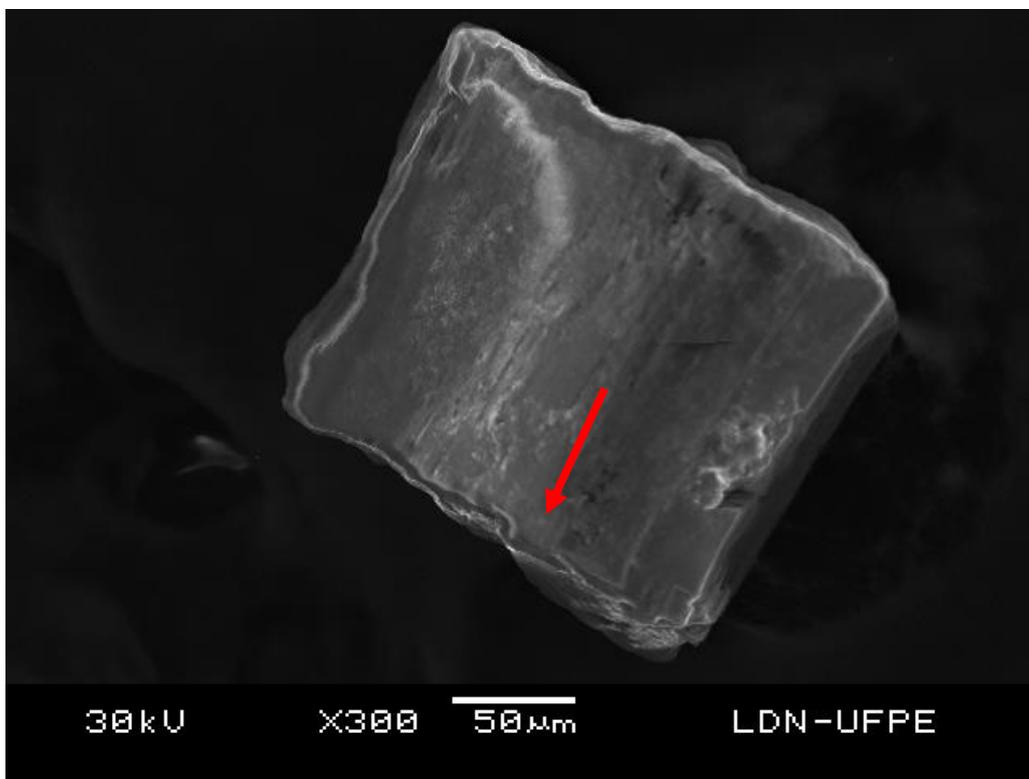


Figura 61. Imagem do MEV de turmalina da Formação Paraíso, em forma de prisma, com arestas desgastadas, aspecto serrilhado (seta vermelha).

5.2.1.5 Rutilo

Mineral raro nas amostras, identificado nos sedimentos das formações Suape, Paraíso e Barreiras, chegando a 5% do total dos minerais investigados, (Figura 62). Apresentam brilho metálico, suas cores variando de preto (opacos), a vermelho sangue, que deve ser devido à provável diferença na concentração de ferro em sua estrutura química (Figura 63). Observam-se grãos subtabulares, com algumas arestas progressivamente arredondadas (Figura 64), com dimensões de 0,5 a 1,0 mm. Apresentam estrias longitudinais (sucos), (Figura 65), e grãos tabulares com clivagem a 90° (Figuras 66 e 67). Na análise química foi detectado o Urânio como elemento traço (Figura 68).

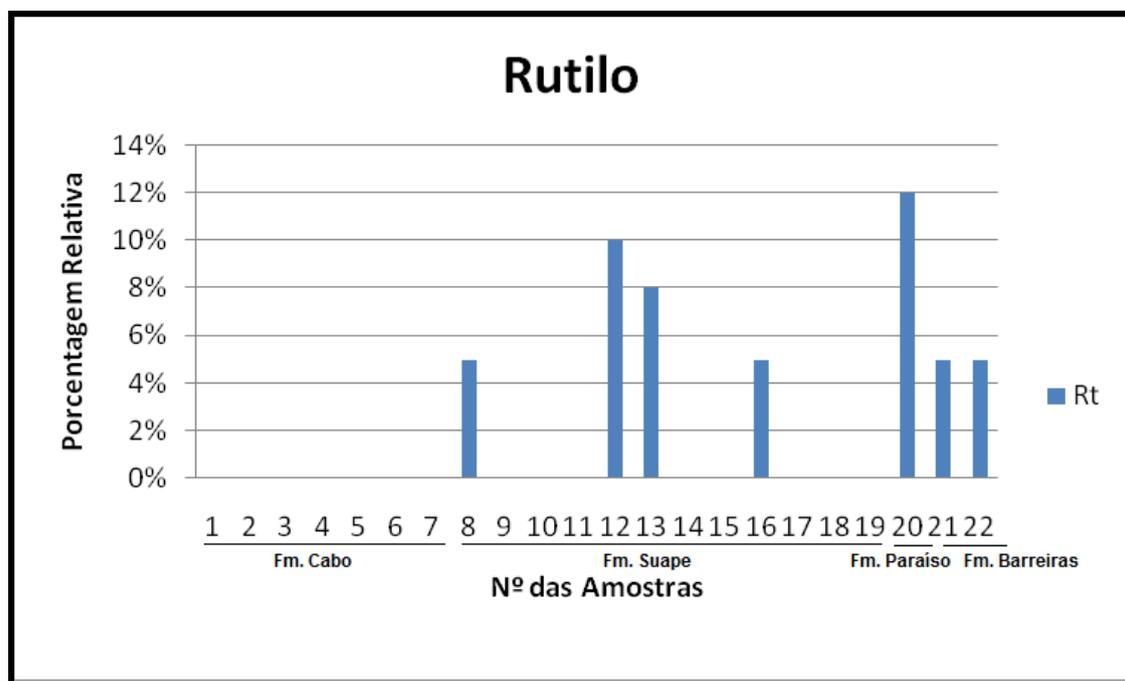


Figura 62. Gráfico das proporções de rutilo (%), encontradas nas amostras das formações Suape (PPE08, PPE-12, PPE-13 e PPE-16), Paraíso (PPE-20) e Barreiras (PPE-21 e PPE-22).

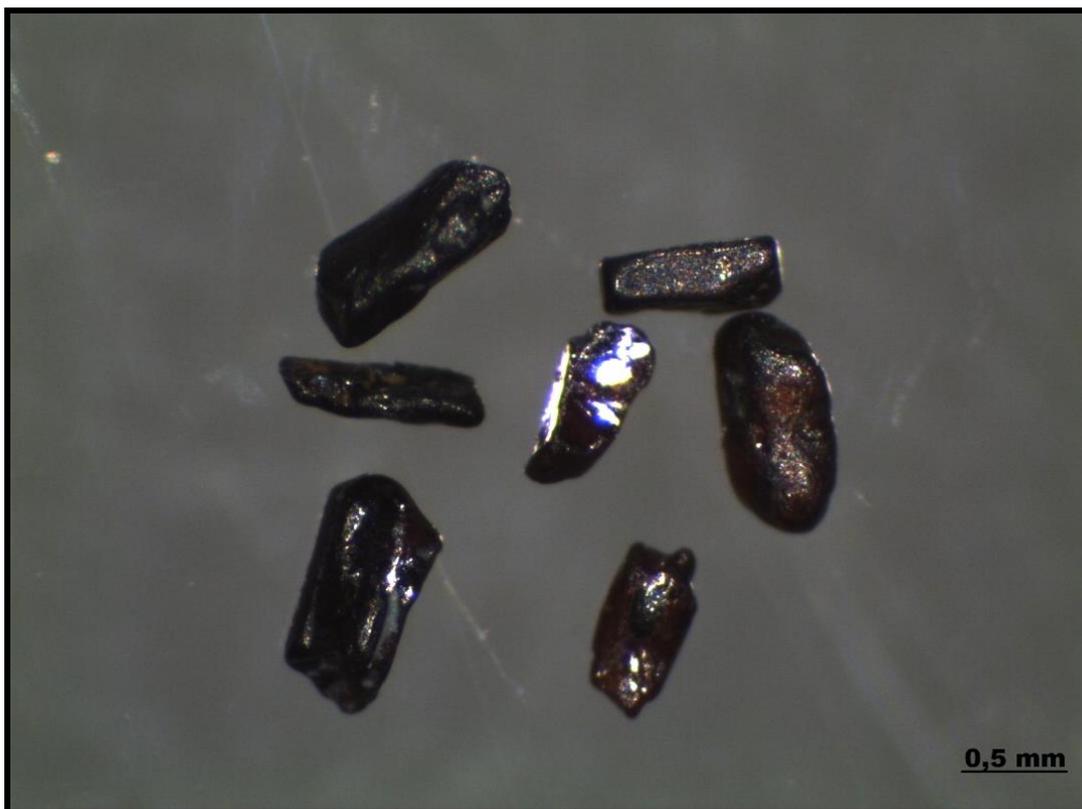


Figura 63. Minerais em grãos de rutilo da Formação Paraíso, de coloração vermelho ou preto e brilho metálico, hábito prismático, com alguns dos grãos apresentando terminações arredondadas.



Figura 64. Imagem do MEV de rutilo da Formação Suape, prismático com terminações arredondadas.

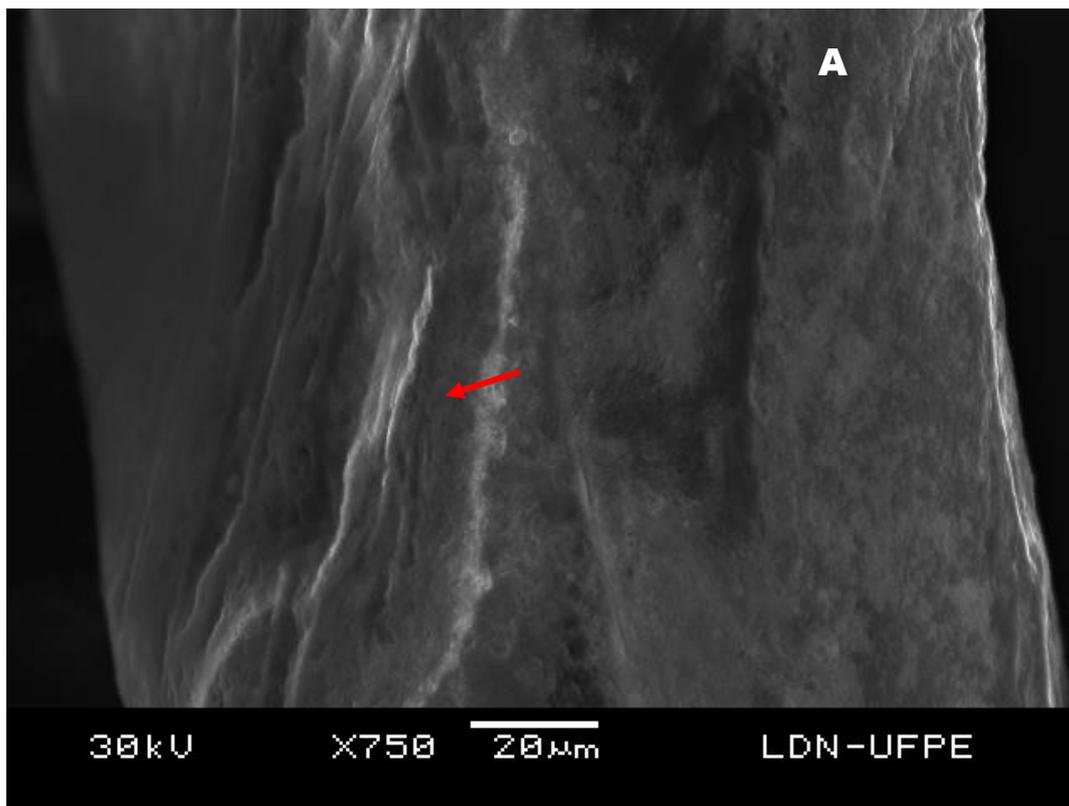


Figura 65. Imagem do MEV de rutilo da Formação Suape, detalhe de estrias e sucus transversais, originadas por desgaste físico (seta vermelha).

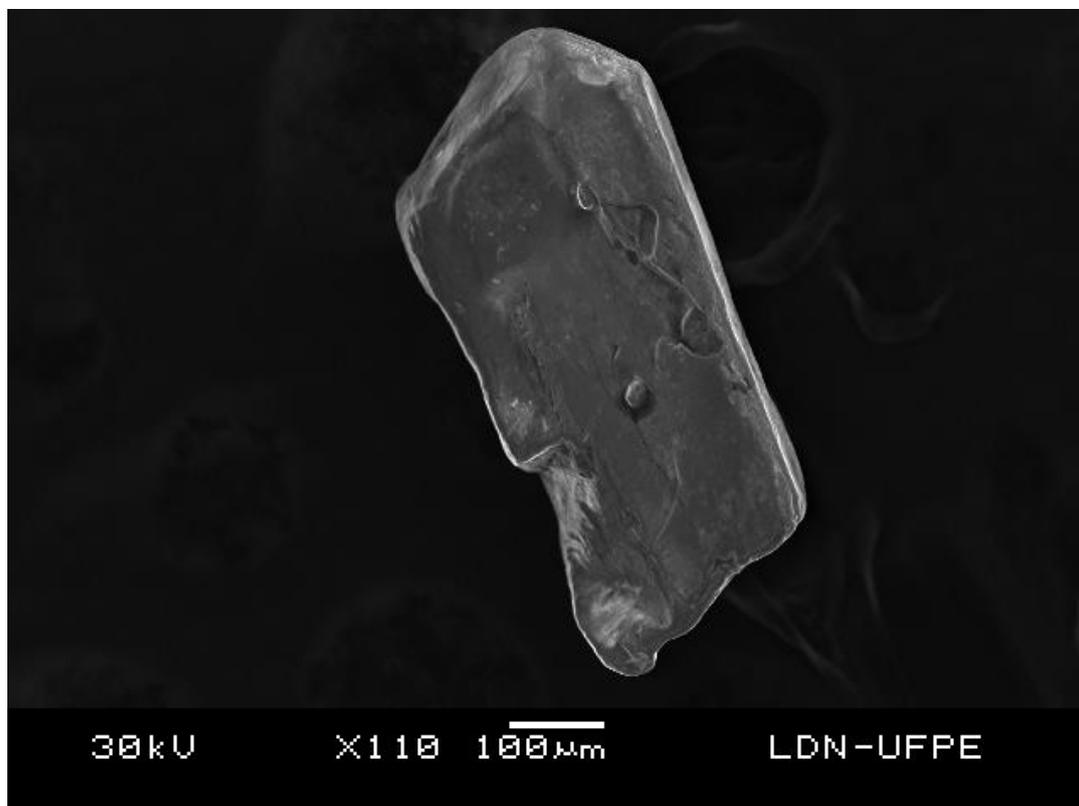


Figura 66. Imagem do MEV de rutilo da Formação Paraíso, grão prismático tabular com clivagem a 90°.

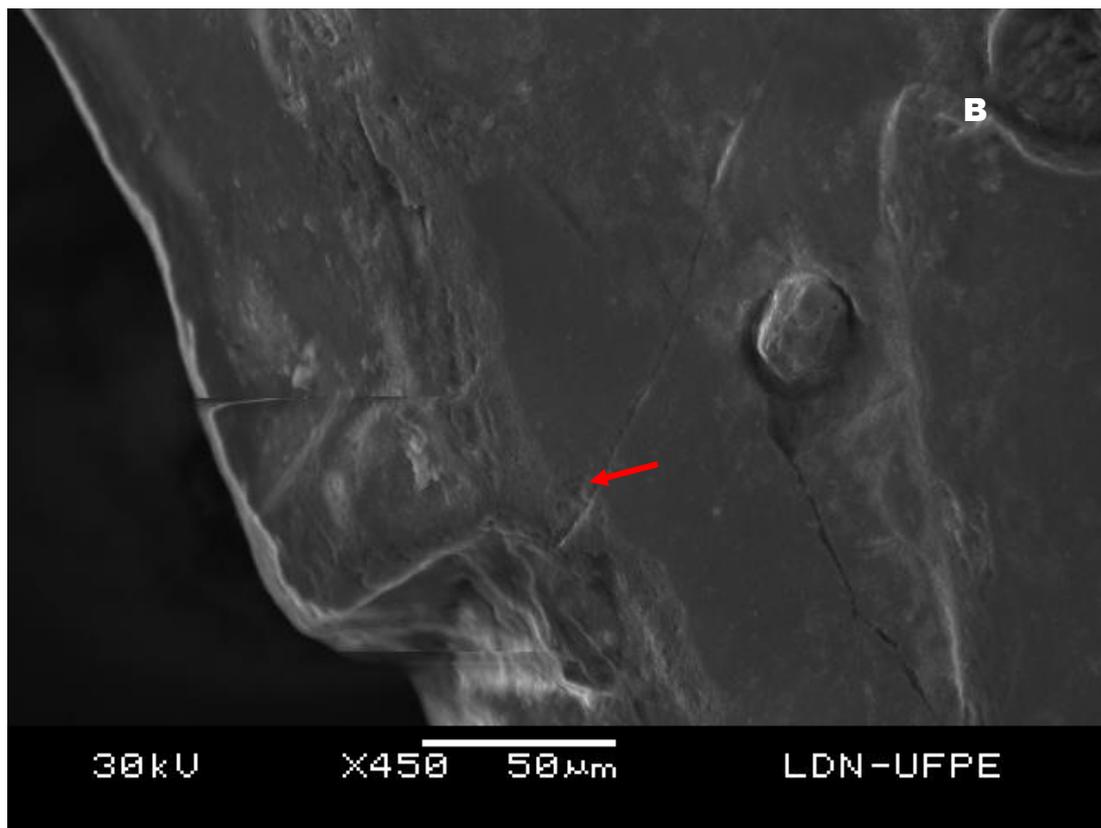


Figura 67. Imagem do MEV de rutilo da Formação Paraíso, detalhe de clivagem à 90 graus e superfícies fraturadas (seta vermelha).

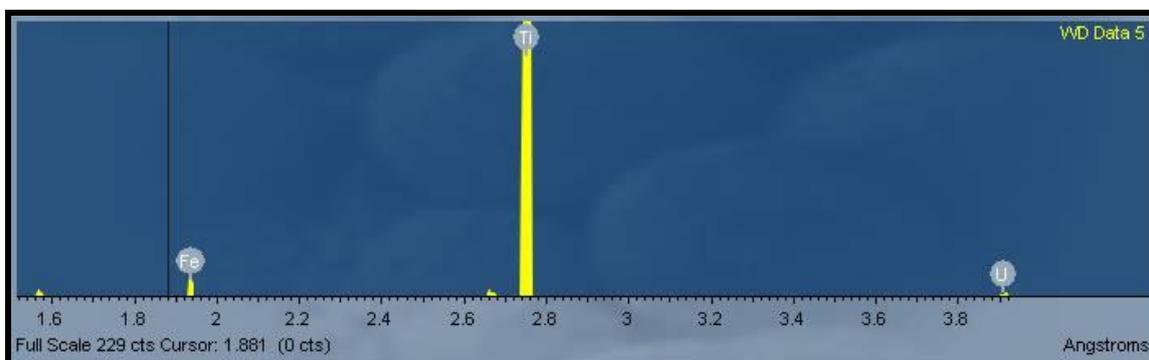


Figura 68. Espectrograma por WDS de rutilo da Formação Suape e identificação de traços de U.

5.2.1.6 Monazita

Mineral identificado apenas na Formação Cabo, chegando a valores de 5% (PPE-04), (Figura 69). De coloração amarelo-esverdeado, apresentou forma indefinida com grãos medindo 0,5 a 1,0 mm (Figura 70). Seus grãos

apresentaram por MEV aspectos de desgaste químico (dissolução) (Figura 71), e são encontrados elementos como Th por EDS.

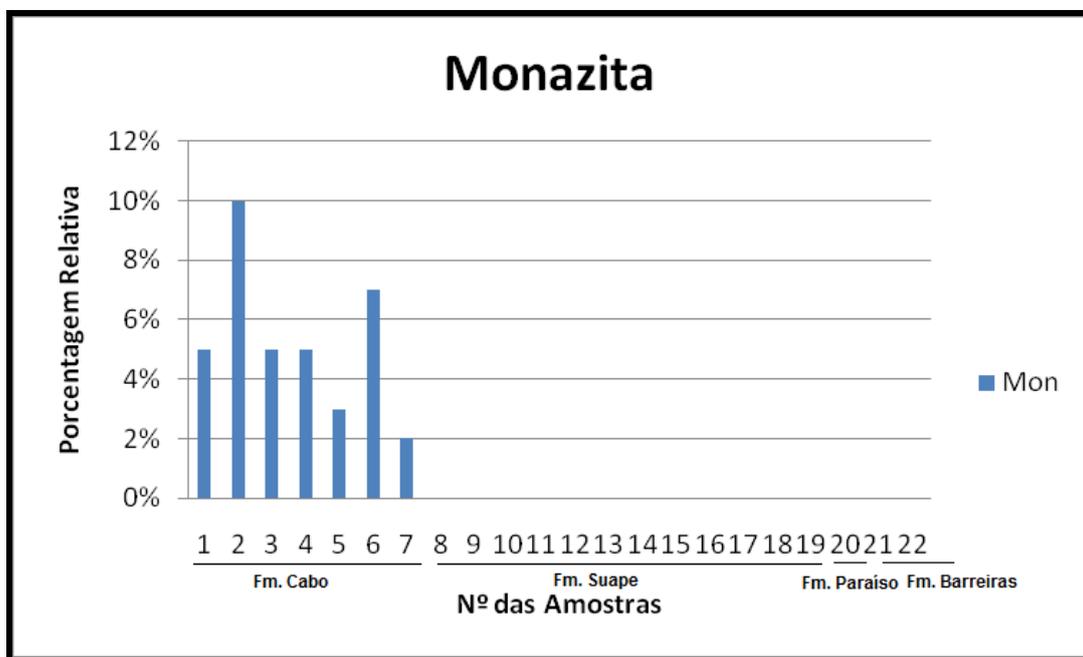


Figura 69. Gráfico das proporções de monazita (%), encontradas nas amostras da Formação Cabo (PPE-01, PPE-02, PPE-03, PPE-04, PPE-05, PPE-06 e PPE-07).

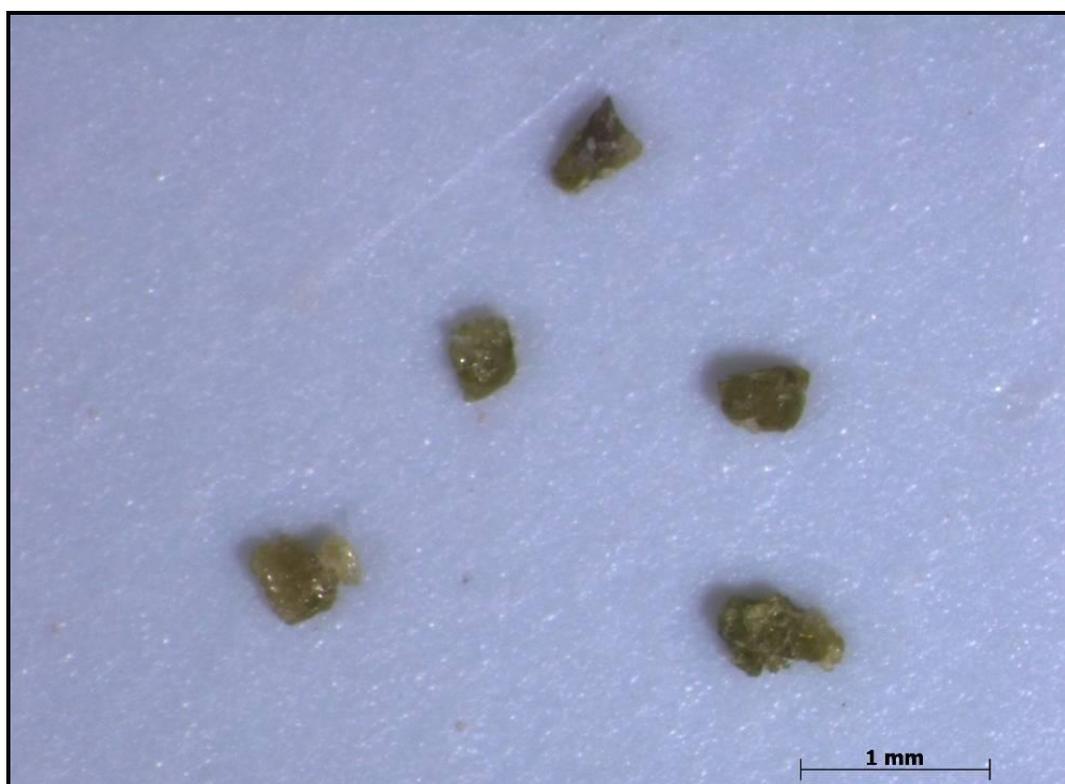


Figura 70. Minerais em Grãos de monazita da Formação Cabo (amostra PPE-02), sem formas definidas ou em prismas de coloração verde-amarelado.

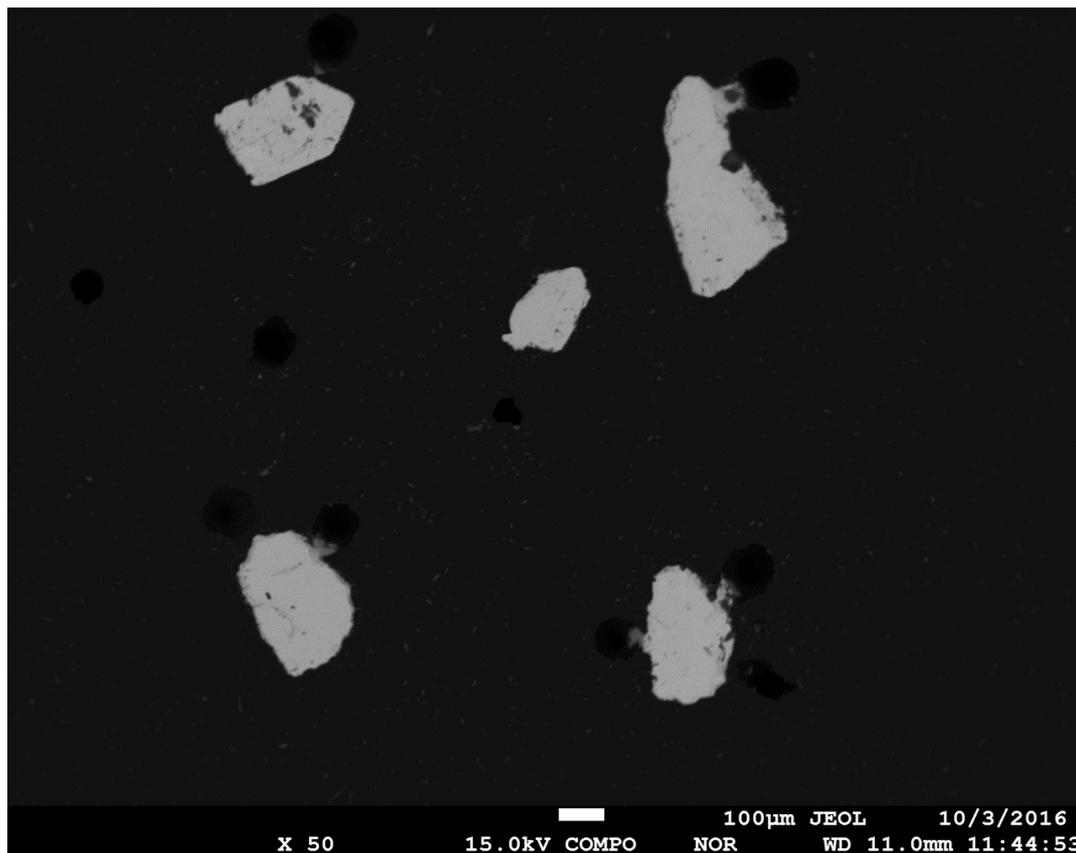


Figura 71. Imagem do MEV de grãos de monazita da Formação Cabo, apresentando formas desgastadas.

5.2.1.7 Espodumênio

Mineral considerado raro, identificado na Formação Paraíso chegando a 3% dos minerais investigados, (Figura 72). Foram encontrados grãos de coloração branco, prismáticos, que medem 0,5 a 2,0 mm, (Figura 73). A variedade de tamanhos pode sugerir que o mineral sofreu desgaste físico durante o transporte. Apresentam clivagem a 90°, em particular nas extremidades, que também reforça a natureza mecânica imposta ao mineral. Outro detalhe que podemos observar é o forte estriamento, no entanto, essa característica é comum aos grãos de espodumênio, (Figuras 74 e 75).

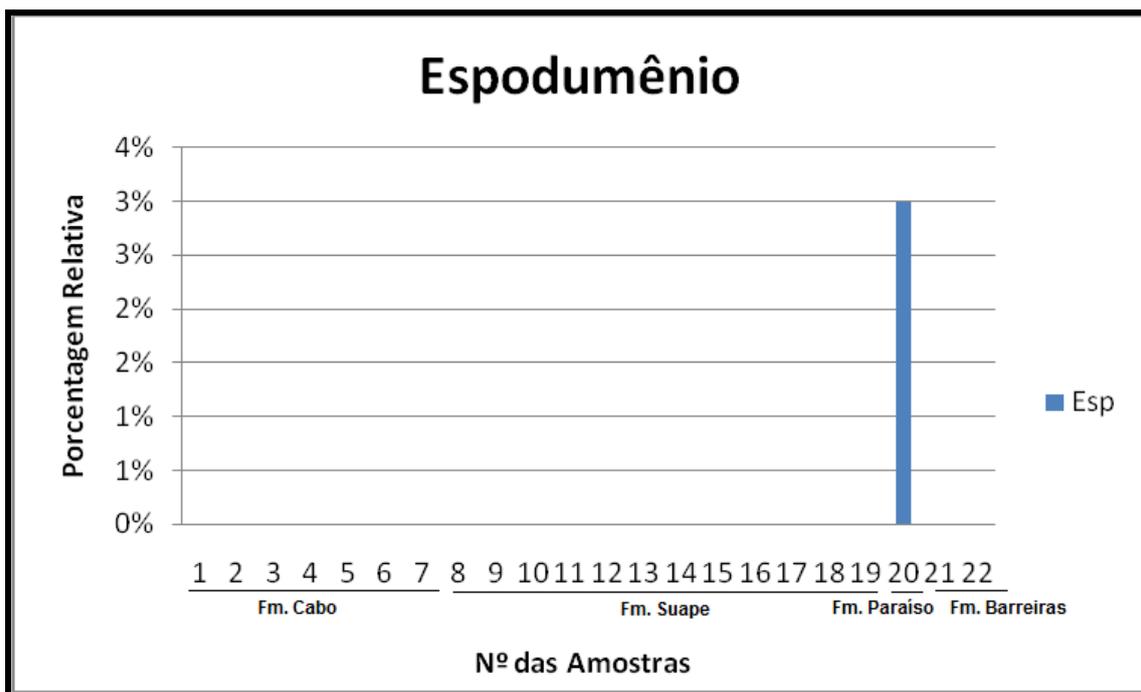


Figura 72. Gráfico da proporção de espodumênio (%), encontrado nas amostras da Formação Paraíso (PPE-20).

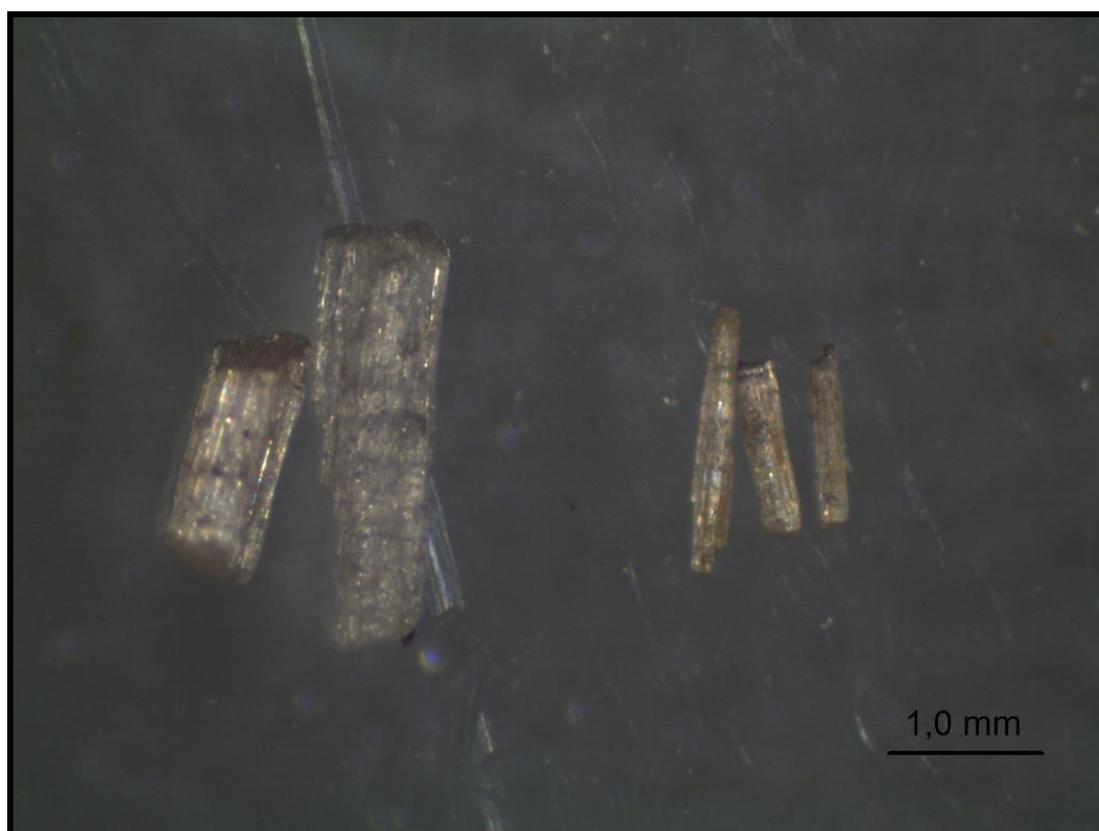


Figura 73. Minerais em grãos de espodumênio da Formação Paraíso, prismáticos de coloração branco ou creme.

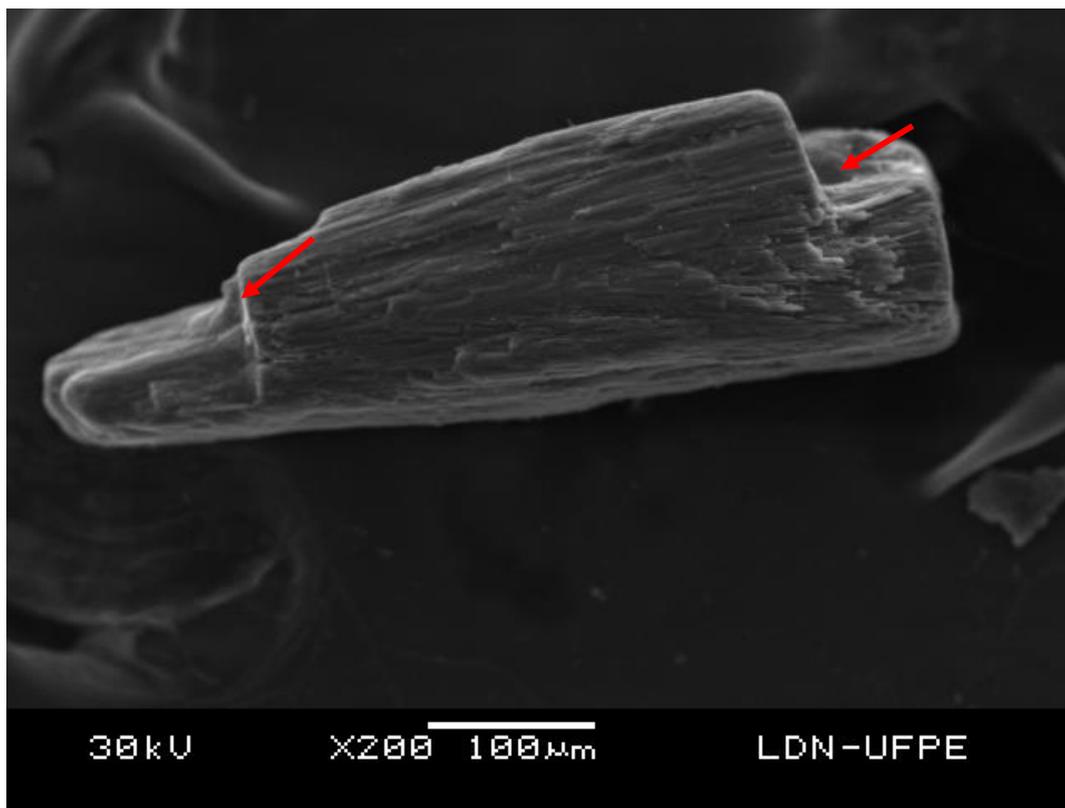


Figura 74. Imagem do MEV de grão de espodumênio da Formação Paraíso, com presença de clivagem a 90° em cada extremidade o que sugere intenso desgaste físico (setas vermelhas).

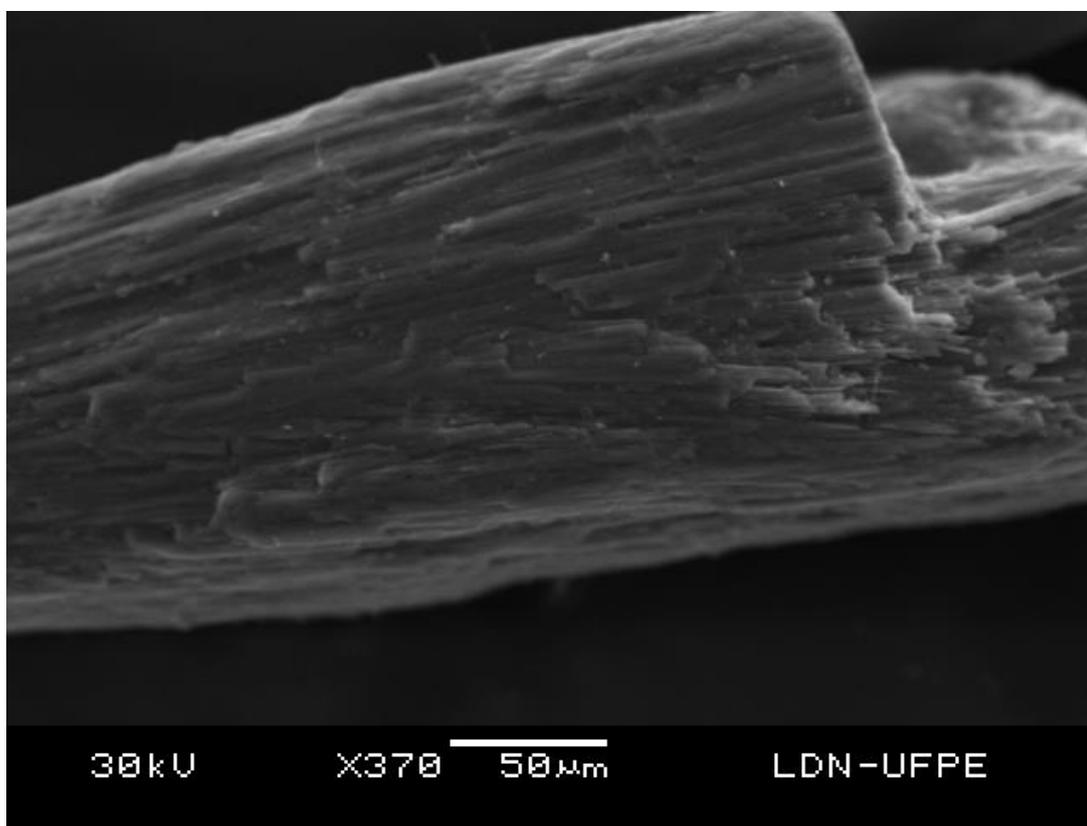


Figura 75. Imagem do MEV de espodumênio da Formação Paraíso, detalhe das estrias transversais, característica comum dos grãos.

5.2.2 Associação Metamórfica

5.2.2.1 Muscovita

Mineral considerado abundante, porém identificado apenas nas amostras da Formação Cabo, chegando a um percentual de mais de 25% (PPE-06), e menor valor 10% (amostra PPE-04), (Figura 76). Apresenta hábito placoso, laminado, com um brilho sedoso (Figura 77).

Seus grãos apresentaram cores distintas, o mais comum, de coloração cinza escuro, apresentou grãos mais bem preservados, medindo 1,0 a 2,0 mm, e subordinadamente, grãos de coloração branca, prateada, medindo 0,25 a 2,0 mm, (Figura 78).

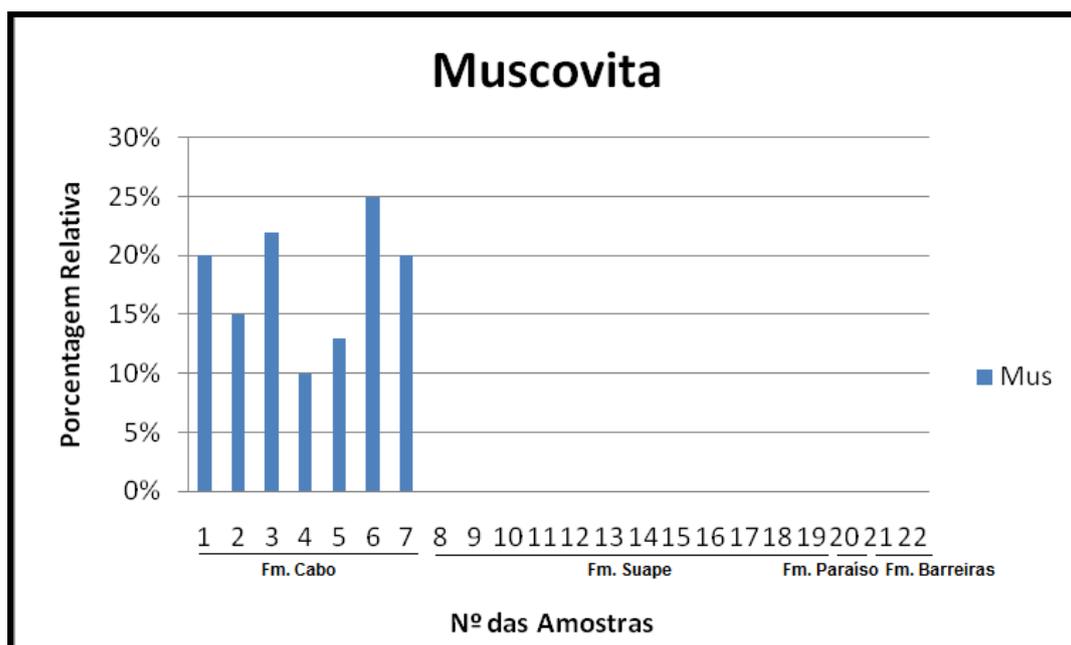


Figura 76. Gráfico das proporções de muscovita (%), encontrada nas amostras da Formação Cabo (PPE-01, PPE-02, PPE-03, PPE-04, PPE-05, PPE-06 e PPE-07).

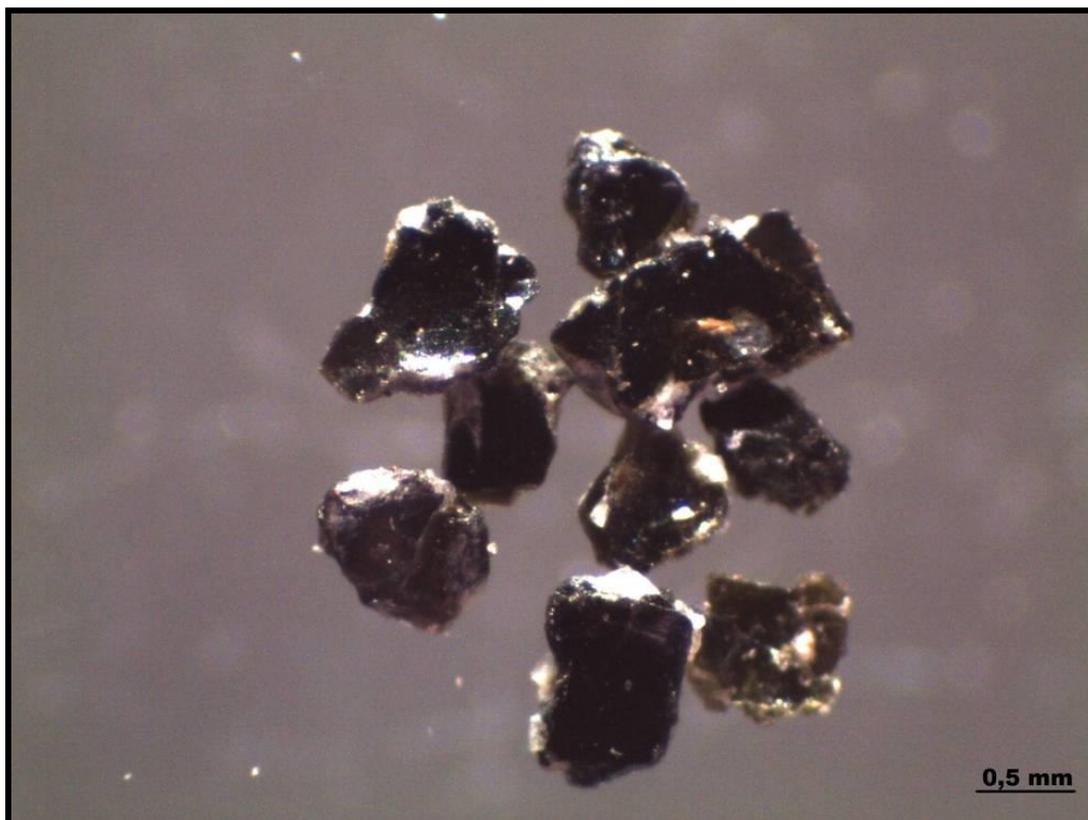


Figura 77. Minerais em grãos de muscovita da Formação Cabo (amostra PPE-01), lamelares de coloração esverdeado e/ou dourado.

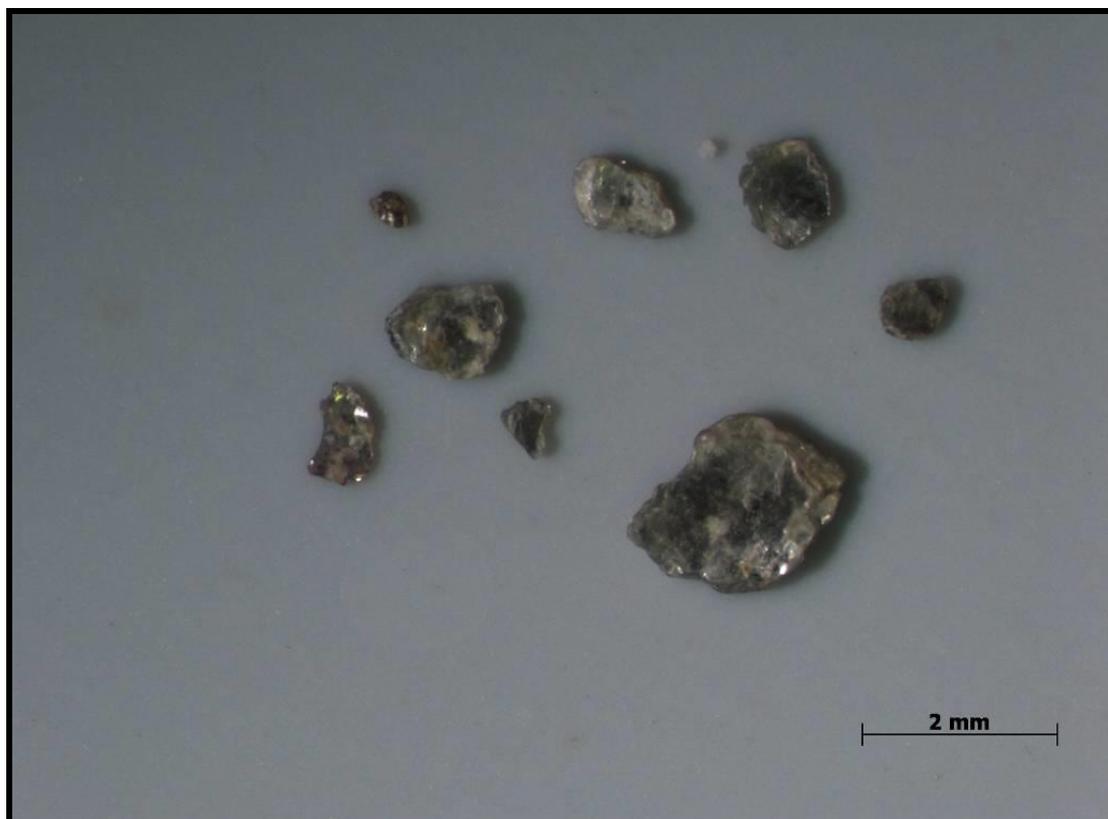


Figura 78. Minerais em grãos de muscovita da Formação Cabo Distal (amostra PPE-03), lamelares de coloração branco e cinza.

5.2.2.2 Granada

Mineral considerado comum a todas as unidades sedimentares e encontrados com frequência na Formação Cabo, chegando 5% (PPE-01, PPE-03, PPE-05 e PPE-07) (Figura 79).

Apresentam coloração vermelho intenso, e formas arredondadas medindo 0,5 mm (Figura 80). Esse mineral apresentou intenso desgaste em sua estrutura, que podem ser indicativo de forte intemperismo químico (aspecto de dissolução) (Figura 81) e físico (fratura conchoidal), (Figura 82). Em menor proporção, são registrados grãos menores de 0,25 mm, mais bem preservados, em forma dodecaedral, apresentando cores menos intensas (essas formas são mais facilmente encontradas na Formação Paraíso). Em sua análise química, foi detectado Fe, o que sugere que essas granadas seriam do tipo Almandina (Figura 83).

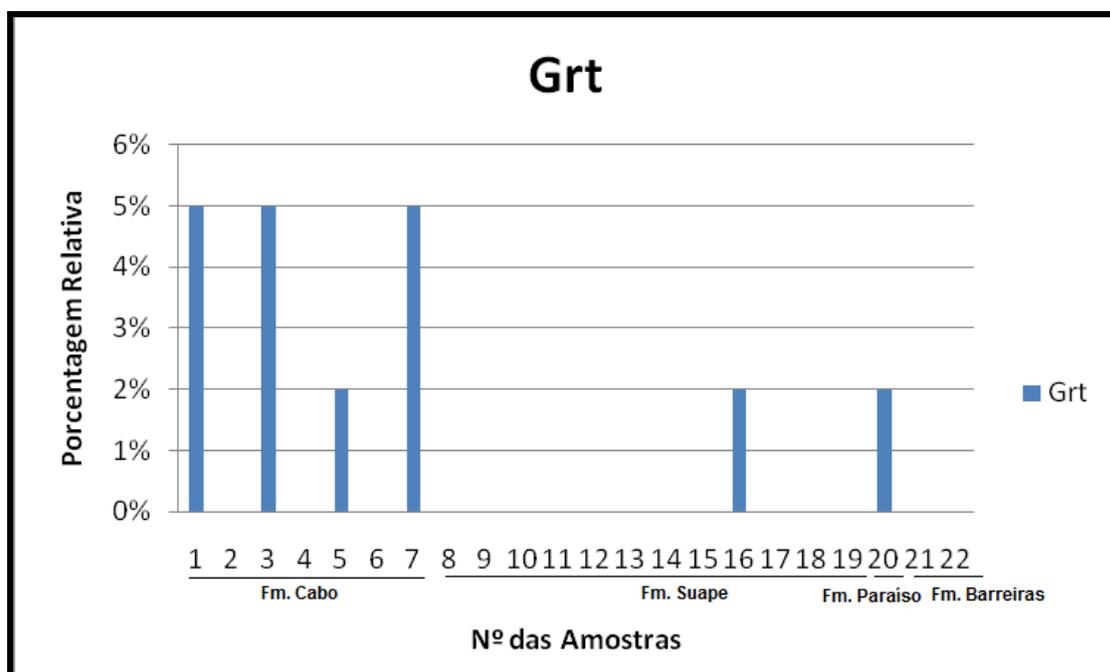


Figura 79. Gráfico das proporções de granada (%), encontradas nas amostras das formações Cabo (PPE-01, PPE-03, PPE-05, PPE-05 e PPE-07) Suape (PPE-16) e Paraíso (PPE-20).



Figura 80. Minerais em grãos de granada da Formação Cabo (amostra PPE-03), de coloração vermelho e brilho intenso.

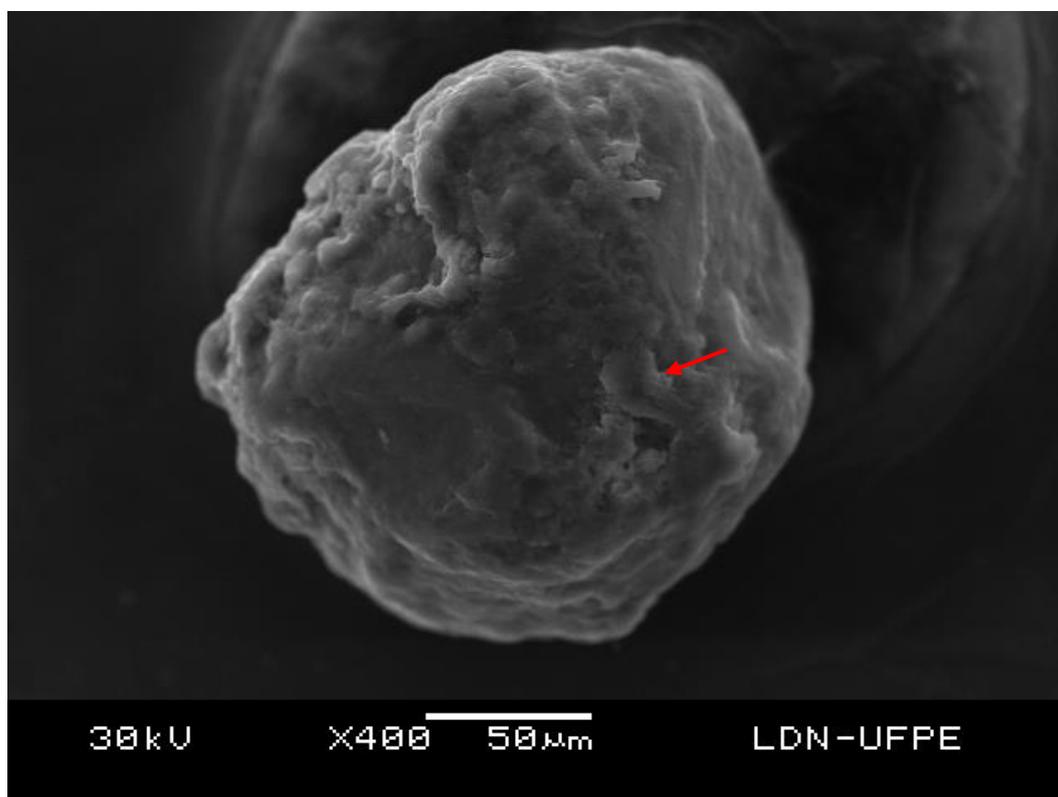


Figura 81. Imagem do MEV de grãos de Granada da Formação Cabo (amostra PPE-03), apresentando forma arredondada e aspectos de dissolução (seta vermelha).

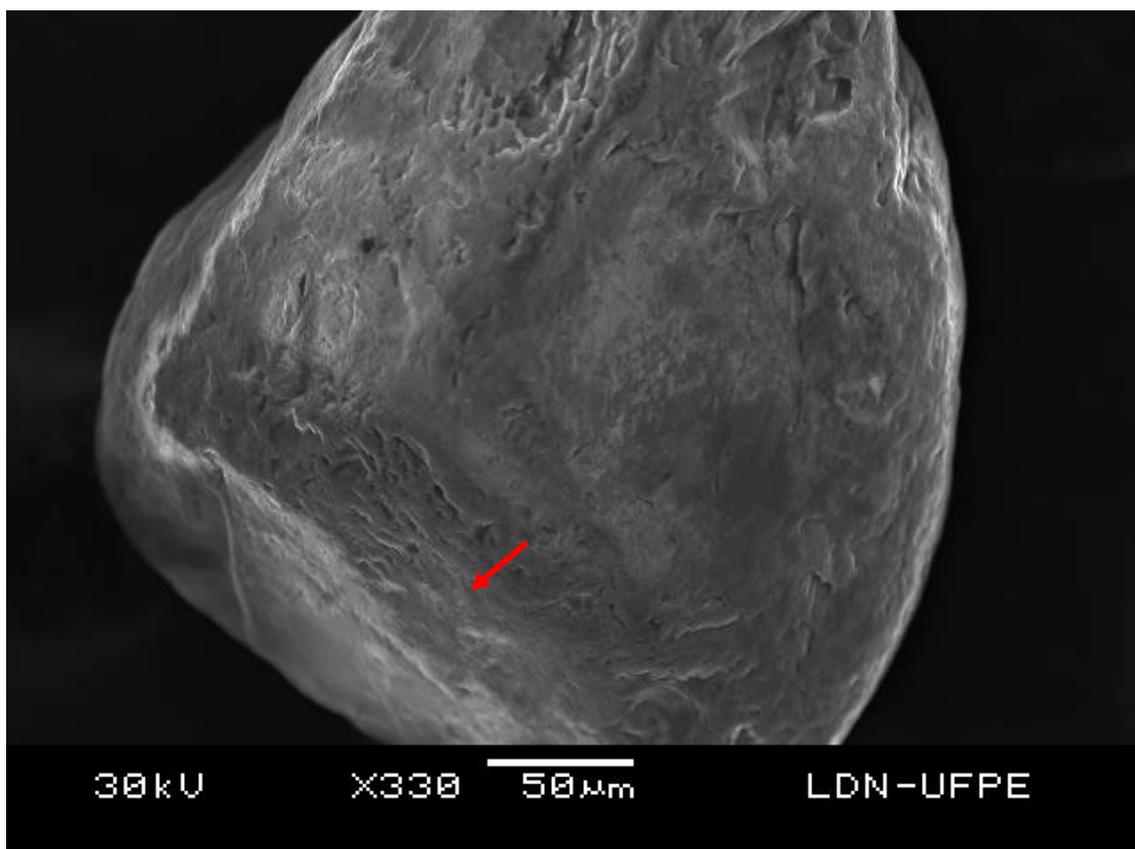


Figura 82. Imagem do MEV de grão de granada da Formação Paraíso, com faces ainda preservadas, e forma antiga dodecaedral (seta vermelha), e fratura subconchooidal.

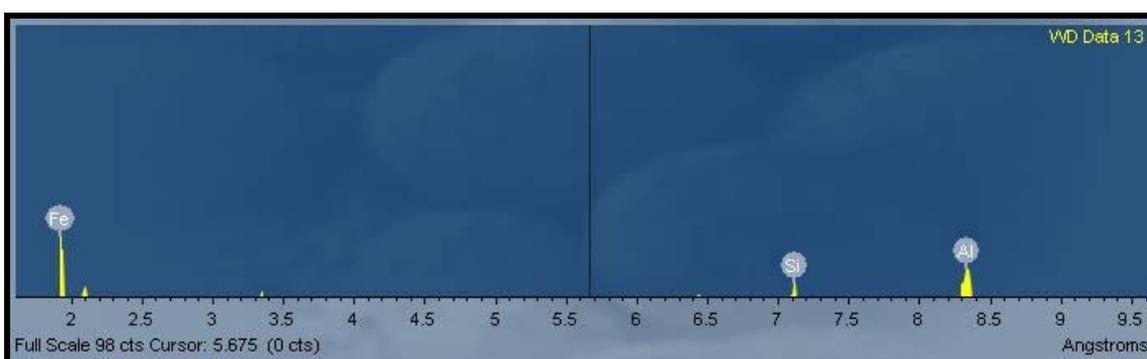


Figura 83. Imagem de espectrograma por WDS de granada da Formação Cabo, detectado Fe.

5.2.2.3 Biotita

Mineral considerado comum nas amostras da Formação Cabo. Apresentam percentuais que chegam a 10% (PPE-06), do total dos minerais investigados (Figura 84). Apresentam coloração amarelo ouro e concreções

escuras ferruginosas, de hábito placoso, sem formas definidas (Figura 85). Os grãos medem 0,25 a 1,0mm, indicando que os grãos foram fisicamente desagregados.

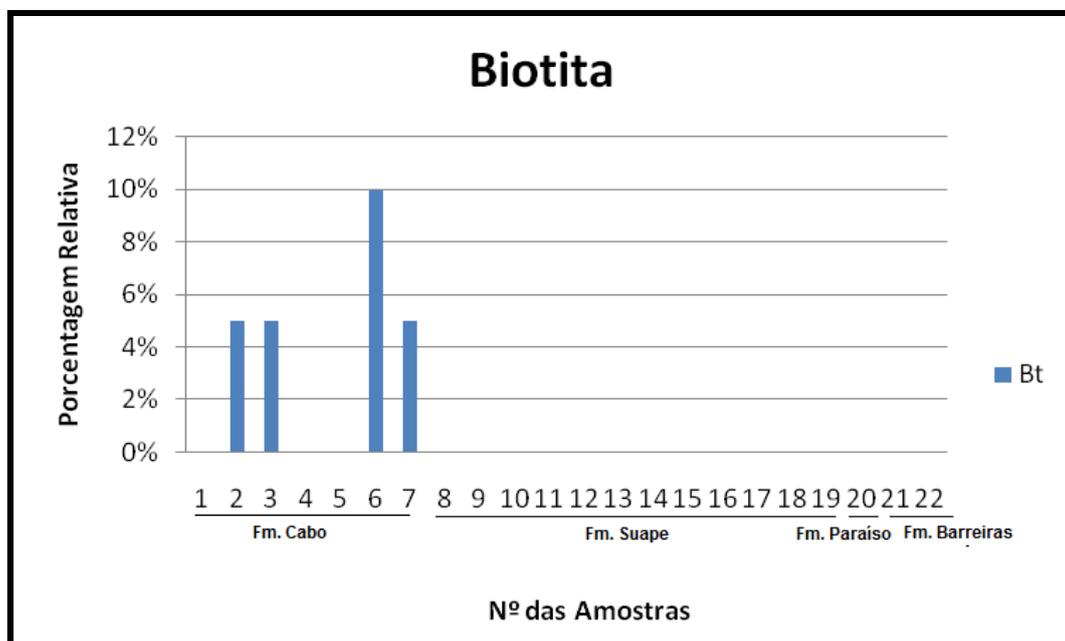


Figura 84. Gráfico das proporções de biotita (%), encontradas nas amostras da Formação Cabo (PPE-02, PPE-03, PPE-06 e PPE-07).



Figura 85. Minerais em grãos de biotita da Formação Cabo (amostra PPE-02), sem formas definidas e lamelares de coloração dourado e brilho metálico.

5.2.2.4 Cianita

Mineral identificado nas amostras da Formação Paraíso (3%), (Figura 86), apresentando certo grau de transparência, contendo inclusões, hábito tabular, medindo 0,5 a 2,0 mm (Figura 87), com estrias transversais (Figura 88).

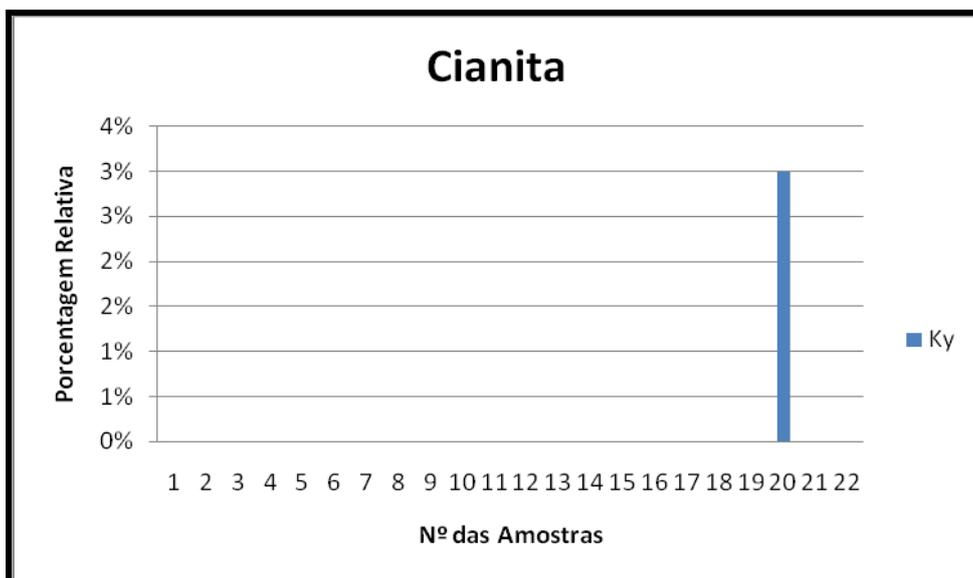


Figura 86. Gráfico das proporções de cianita (%), encontradas nas amostras da Formação Paraíso (PPE-20)

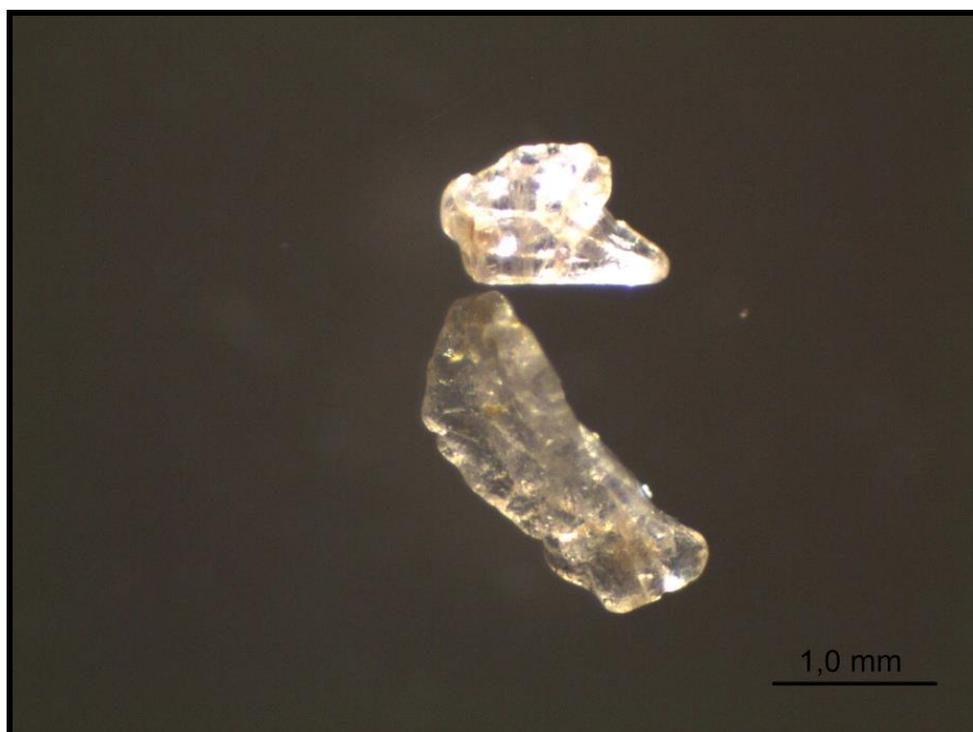


Figura 87. Minerais em grãos de cianita da Formação Paraíso, tabulares transparentes, contendo inclusões de ilmenita e aspecto oxidado em algumas partes dos grãos.

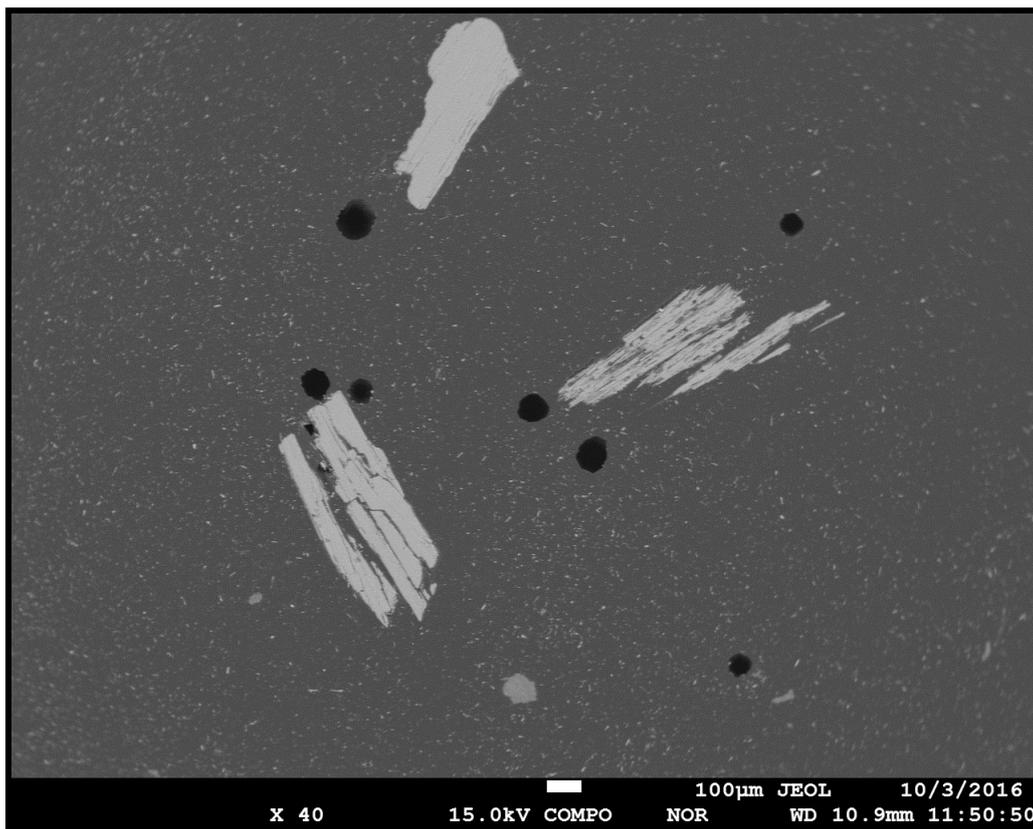


Figura 88. Imagem do MEV dos grãos de cianita, prismático com estrias transversais.

5.3 Análise dos índices Σ MET (soma dos estáveis), ZTR (minerais ultra estáveis), RuZi (rutilo-zircão).

Os índices MET (soma dos estáveis não micáceos) apontam concentrações mais elevadas nos depósitos da Formação Cabo, principalmente nas partes proximais (PPE-01 e PPE-02), (Figura 89). Os valores diminuem ou ficam praticamente inexistentes nas formações Suape, Paraíso e Barreiras.

Já os índices de minerais ultra-estáveis, zircão, rutilo e turmalina (ZTR), apresentam maiores valores nas amostras da Formação Suape (PPE-09 e PPE-12), Paraíso, (PPE-20), e Barreiras, (PPE-21), esses índices indicam uma tendência de aumento de maturidade mineralógica nos depósitos localizados na porção leste, da Bacia de Pernambuco, (Figura 90).

Outro índice calculado foi o Ru-Zi (RZ), esses índices indicam variações significativas ao longo da sucessão sedimentar, com possíveis mudanças de proveniência, pois envolvem minerais com estabilidade hidráulica equivalente, indicando que processos geológicos superficiais como a diagênese e o

intemperismo não afetariam esses minerais. Os índices apresentam maiores valores nas formações Suape, (PPE-09, PPE-11, PPE-12), Paraíso (PPE-20) e Barreiras (PPE-21), (Figura 91).

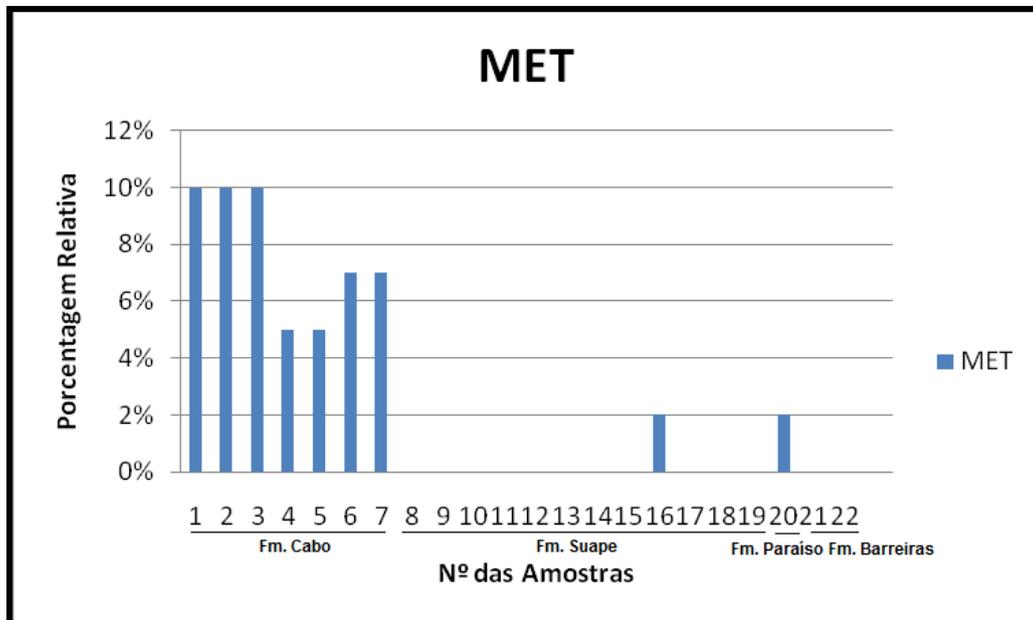


Figura 89. Gráfico de comparação das proporções de minerais estáveis não micáceos (MET), nos arenitos das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.

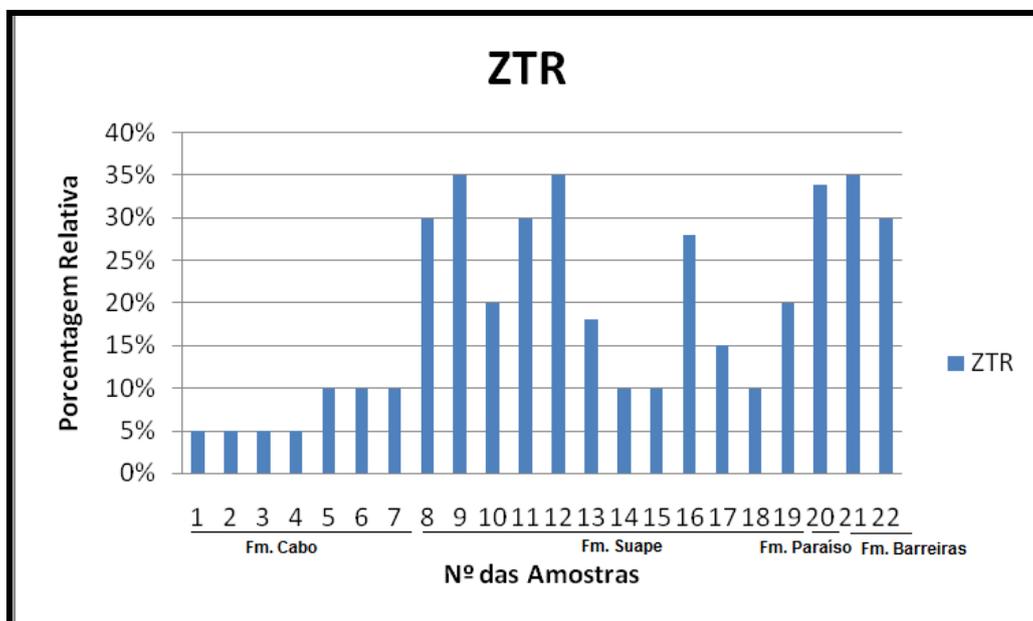


Figura 90. Gráfico do índice ZTR, zircão-turmalina-rutilo (minerais ultra-estáveis), (%), nas amostras das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.

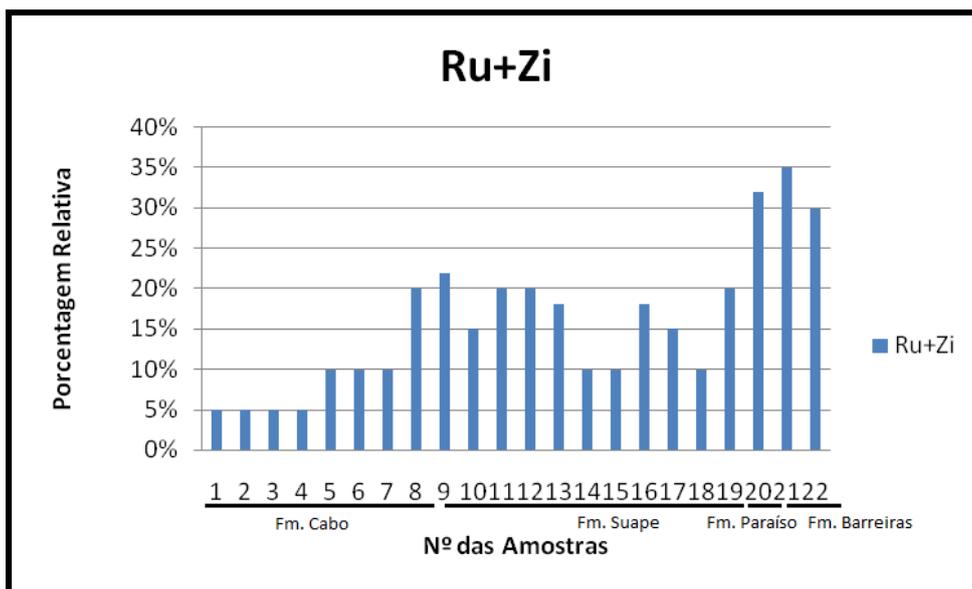


Figura 91. Gráfico do índice RZ, rutilo+zircão, (%) nas amostras das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.

Comparando os índices (MET, ZTR e RT), notam-se que o MET, apresenta maiores valores nos depósitos iniciais (Formação Cabo), esses depósitos são localizados na porção oeste da Bacia de Pernambuco, o que pode indicar perda desses minerais ao longo do transporte. Enquanto os índices (ZTR), apresentam valores relativamente mais altos nos depósitos finais, que pode ser indicativo de maturidade mineralógica com modificação diagenética (Figura 92).

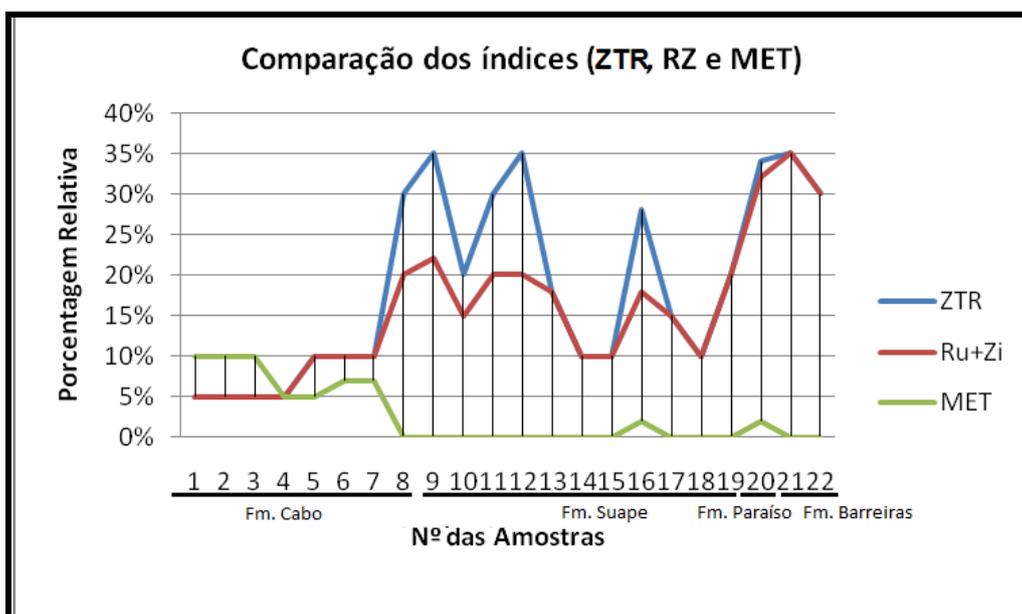


Figura 92. Gráfico dos índices ZTR (minerais ultra-estáveis), RZ (rutilo+zircão), e MET (minerais Ultra-estáveis), (%) nas amostras das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.

5.4 - Análise da Estrutura Interna e Datação em zircões.

As idades obtidas em zircões detríticos das formações estudadas podem ser divididos em três grupos, o primeiro com 75% correspondem a zircões provenientes de rochas cambrianas e neoproterozóicas 700-500 Ma., o segundo grupo em torno 25% provenientes de rochas mesoproterozoicas a paleoproterozóicas, 1,5-1,0 Ga. e 5% paleoproterozoicas e arqueanas em torno 3,0-2,5 Ga. (Anexo 4)

Na Formação Cabo foram registradas idades em zircões detríticos desde o Arqueano 3,0 Ga., ao Cambriano de 558 Ma. Nos zircões das amostras PPE-01, o gráfico de concórdia aponta maiores concentrações de idades para essa formação entre 700-500 Ma., e menores valores entre 2,0-1,5 Ga. e 2,8-2,5 Ga. (Figuras 93 e 94).

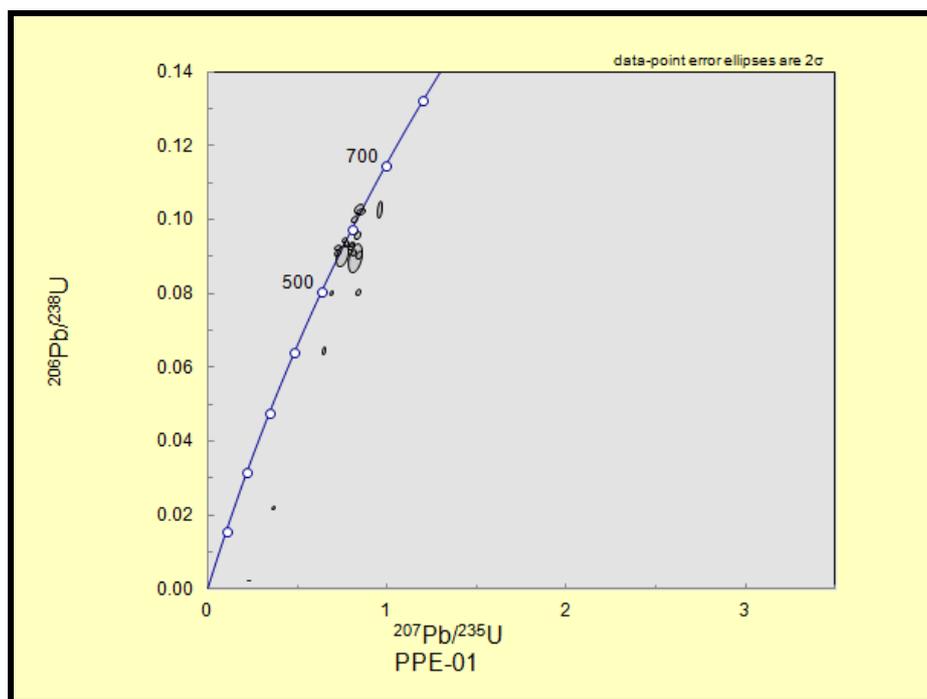


Figura 93. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Cabo (amostra PPE-01), apresentando concentrações elevadas nos intervalos de 700- 500 Ma.

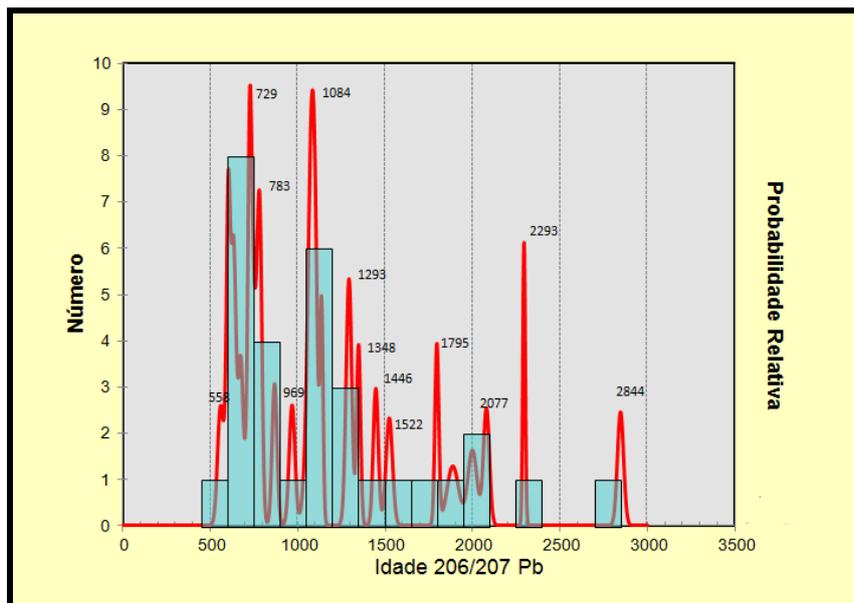


Figura 94. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Cabo (amostra PPE-01), com idades até 700 Ma., e menores valores entre 2,0–1,5 Ga. e 2,8–2,5 Ga.

Os zircões da amostra PPE-03 apresentam idades concordantes entre 3,0-1,4 Ga., com picos elevados em 600 Ma. e menores em 3,0 Ga. esses últimos, datam os zircões mais antigos registrados por essa pesquisa (Figuras 95 e 96).

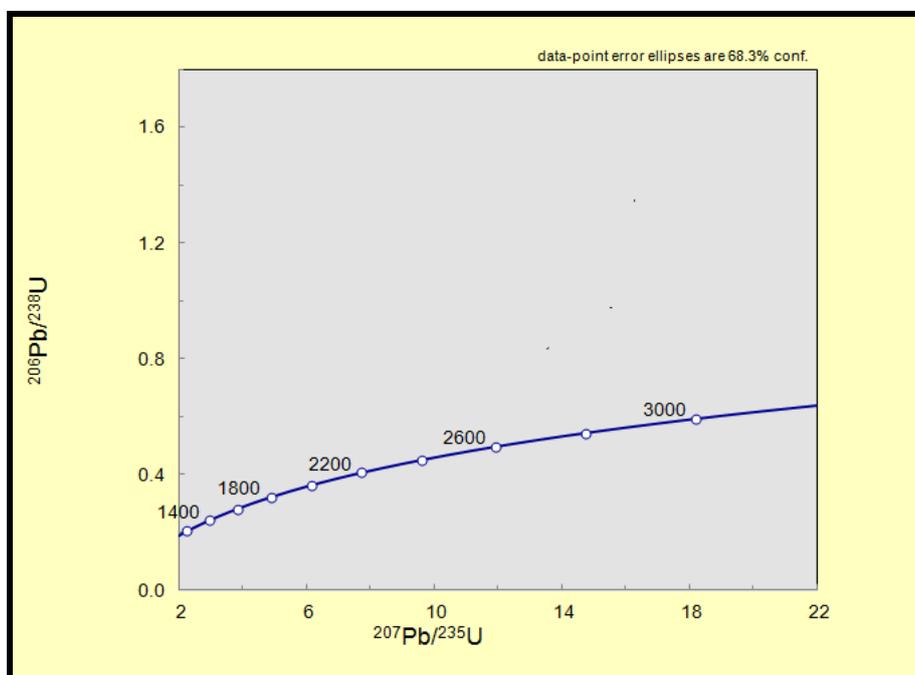


Figura 95. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos do ponto PPE-03 da Formação Cabo, com idades concordantes de 3,0-1,4 Ga.

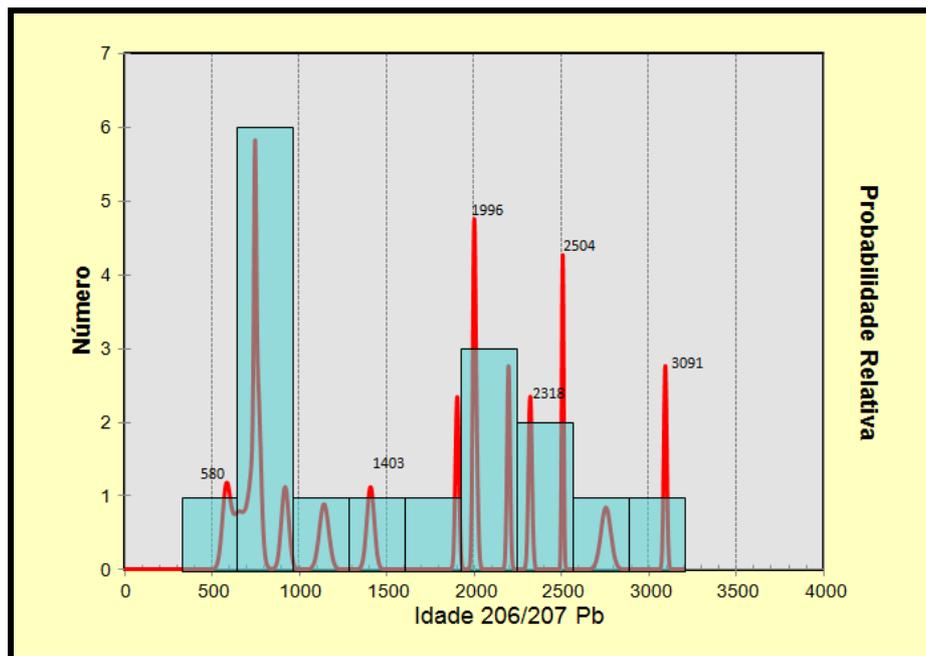


Figura 96. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Cabo (amostra PPE-03), com picos elevados no intervalo de 600 Ma., e chegando a idade máxima de 3,0 Ga.

Quanto à estrutura interna, alguns grãos de zircão foram previamente analisados e escolhidos (Tabela 05). Os zircões apresentaram formas prismáticas e alguns em prisma com zoneamentos bem evidenciados, desde a parte central até as bordas. Alguns desses possuem duas a três fases de crescimento, caracterizados pelas partes mais claras, o que pode indicar uma cristalização gradual, com diferenças de idades mais antigas para esses grãos no intervalo de 1,0-1,4 Ga. (Figura 97A).

Observam-se também, grãos de zircão em forma de prismas, com zoneamentos bem marcados nas partes centrais e homogêneos, com idades de 1,8 Ga., e zoneamentos mais claros, evidenciando uma nova fase de cristalização que forneceu idade de 786 Ma. (Figura 97B).

Outros grãos apresentaram núcleos centrais mais escuros e bem evidenciados (Figura 97C). E por último, grãos apresentando diversas fases de crescimento, com pelos menos duas fases de cristalização evidenciada pelas partes mais claras (Figura 97D).

Tabela 05. Descrição da estrutura interna dos zircões da Formação Cabo e análise das fases de cristalização por MEV- CL.

Zircão	Morfologia	Estrutura Interna
Grão A	Prismático	Cristalização gradual, várias fases de cristalização.
Grão B	Prismático	Centro nebulítico contendo inclusões e fraturamento intenso.
Grão C	Prisma	Centro individualizado, aspecto de reabsorção, zoneamento evidenciado.
Grão D	Prismático	Centro individualizado, diversas fases de crescimento.

Zircões com alta frequência e regular distribuição das bandas podem estar indicando altos graus de saturação do zircão, enquanto que uma baixa frequência de distribuição das bandas, assim como evidências de interrupção nas mesmas, pode estar indicando um baixo grau de saturação do zircão no magma (Vavra, 1990). Outras texturas como setorial e convoluta, também podem estar relacionados a processos ígneos, porém são mais raros.

Quando a cristalização do zircão ocorre no estado sólido associado principalmente ao metamorfismo de alto grau, as morfologias mais comuns são a oval e arredondada. Essas formas estão muitas vezes associadas ao fato de muitos desses grãos cristalizarem dentro de outros minerais maiores, essa morfologia também está associada à saturação do zircão em torno de 810-830° (Watson e Harrison, 1983).

O tamanho e a forma do mineral também estão relacionados ao período no qual ocorre a saturação de zircão durante a história de cristalização de rochas plutônicas. Quando a saturação é tardia, os cristais tendem a ser anédricos, pois crescem nos interstícios dos minerais já cristalizados (Scoates e Chamberlain, 1995).

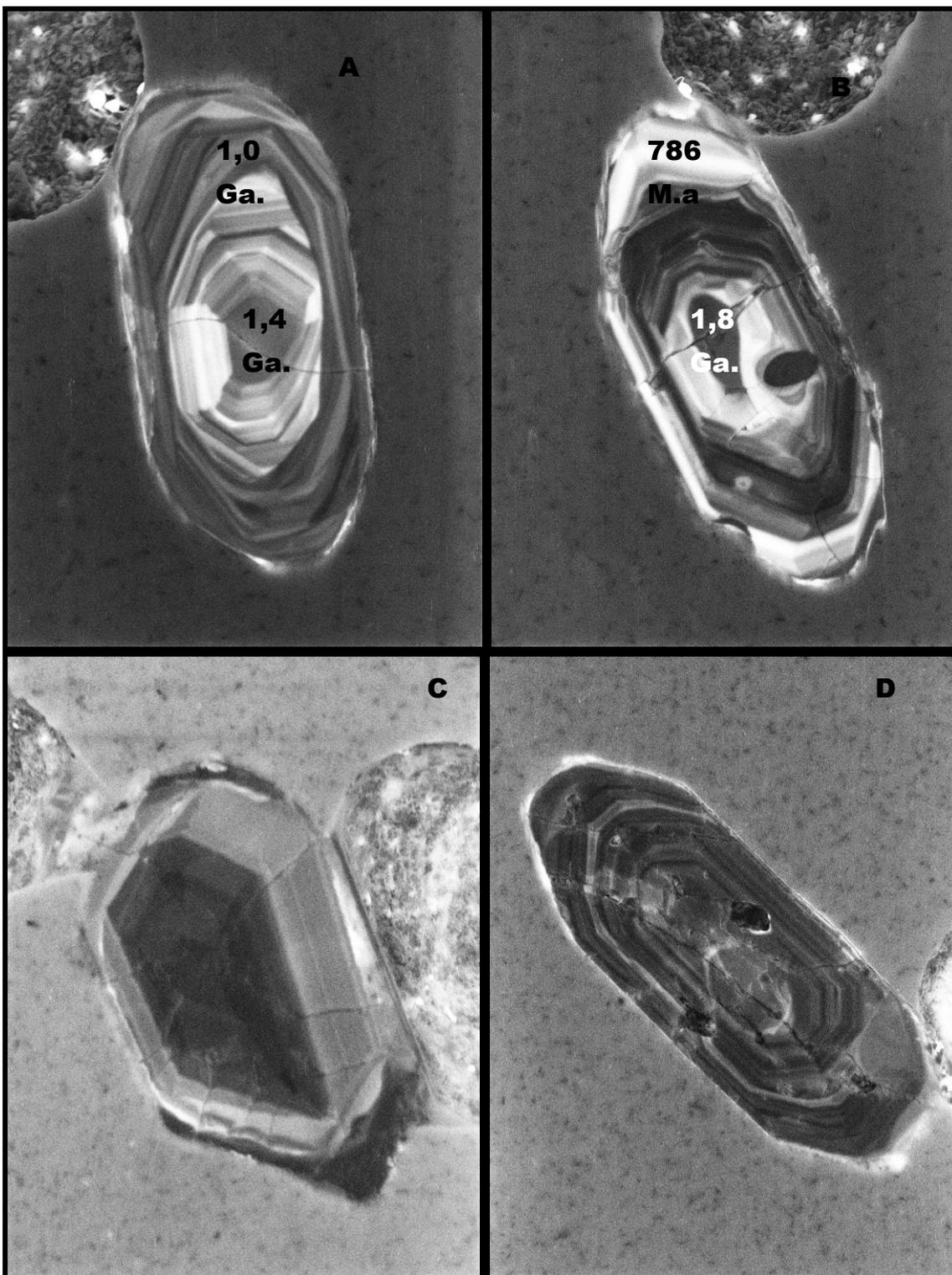


Figura 97. Imagens da estrutura interna dos grãos de zircão da Formação Cabo. Grão com cristalização gradual, com diferenças de idade entre 1,4-1,0 Ga. (A); Prismático com centro nebulítico, com idade de 1,8 Ga. e zoneamento mais claro, evidenciando uma nova fase de cristalização de 786 Ma., nas bordas (B); grão com terminações arredondadas e centro apresentando zona de absorção (C); prismático, com duas fases de cristalização (D).

Na Formação Suape a idade máxima identificada foi de 2,6 Ga. e mínima de 534 Ma. As amostras do afloramento PPE-08A apresentam intervalos concordantes entre 600 Ma. e 2,5 Ga., com picos mais elevados nos intervalos de 592 Ma, (Figuras 98 e 99), observam-se idades entre 1,9-1,5 Ga., e 2,6 – 2,5 Ga.

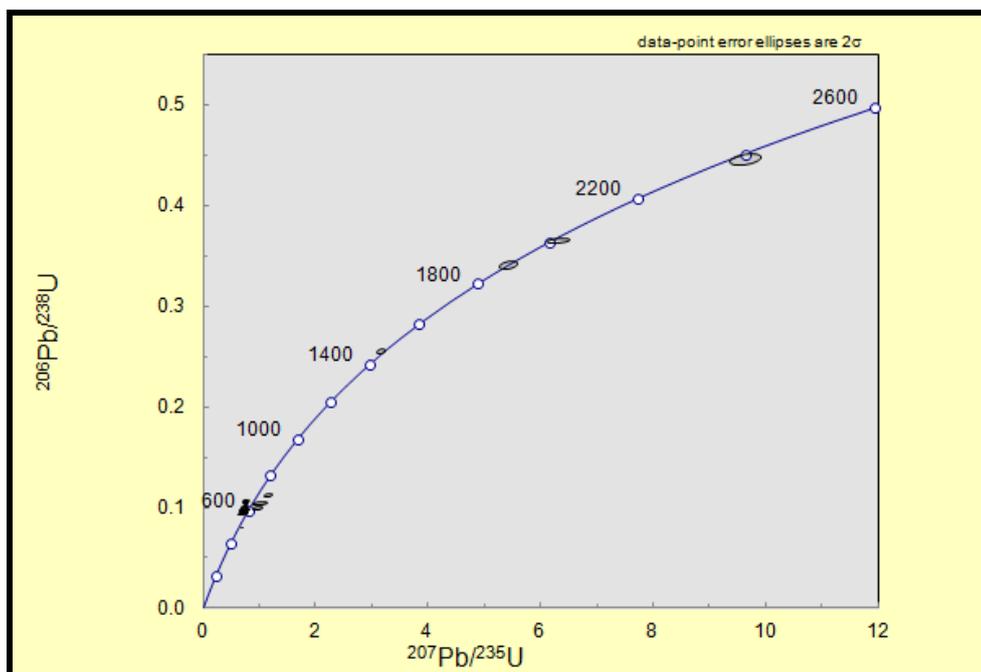


Figura 98. Curva de Concórdia das idades dos zircões detriticos da Formação Suape (amostra PPE-08A), com idades de 2,5 Ga. e 600 Ma.

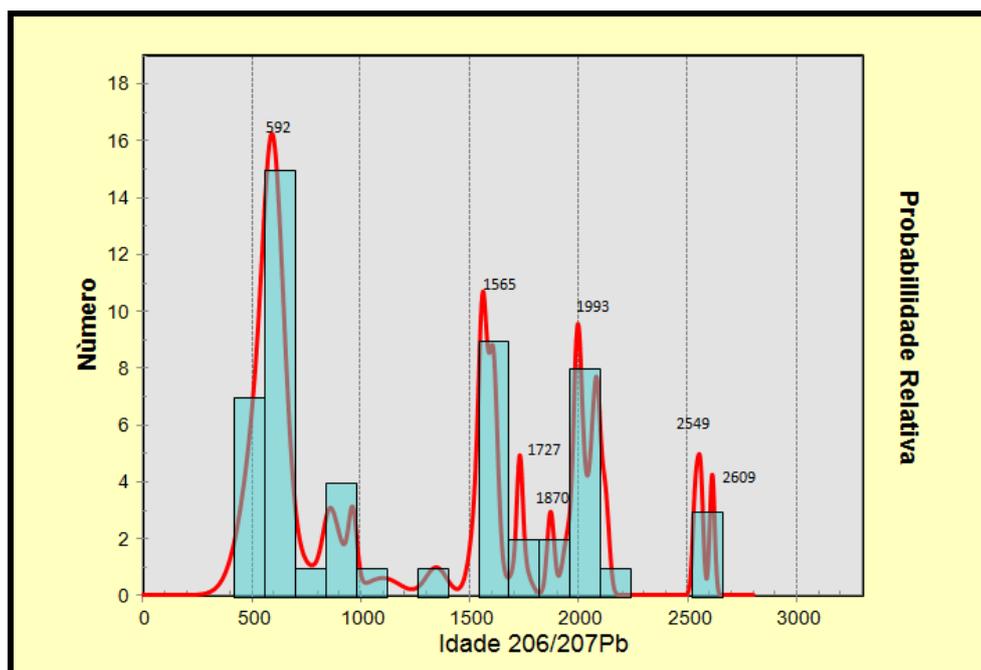


Figura 99. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detriticos da Formação Suape (amostra PPE-08A), com picos elevados de 592 Ma.

A amostra PPE-8B apresentou intervalo entre 1,6 Ga. para idade máxima e 600 Ma., idade mínima, de acordo com o gráfico de Concórdia, já o gráfico de probabilidade relativa indicou picos elevados de 2,0 Ga., (Figuras 100 e 101). O ponto PPE-08B, corresponde às amostras de arenitos intercalados com argilitos e que estão posicionados acima do PPE-08A.

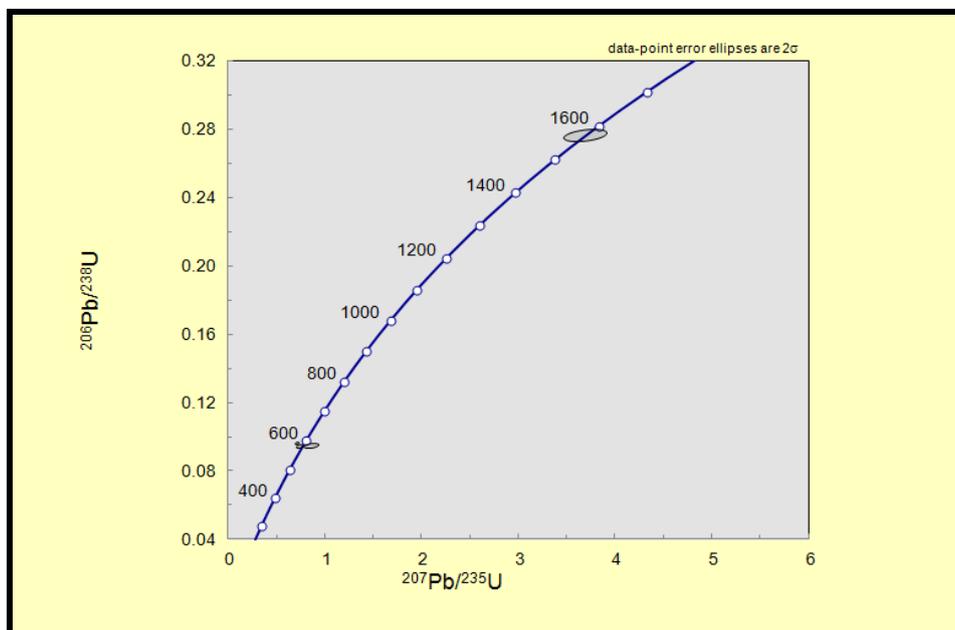


Figura 100. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-08B), com maiores concentrações no intervalo de 1,6 Ga. a 600 Ma.

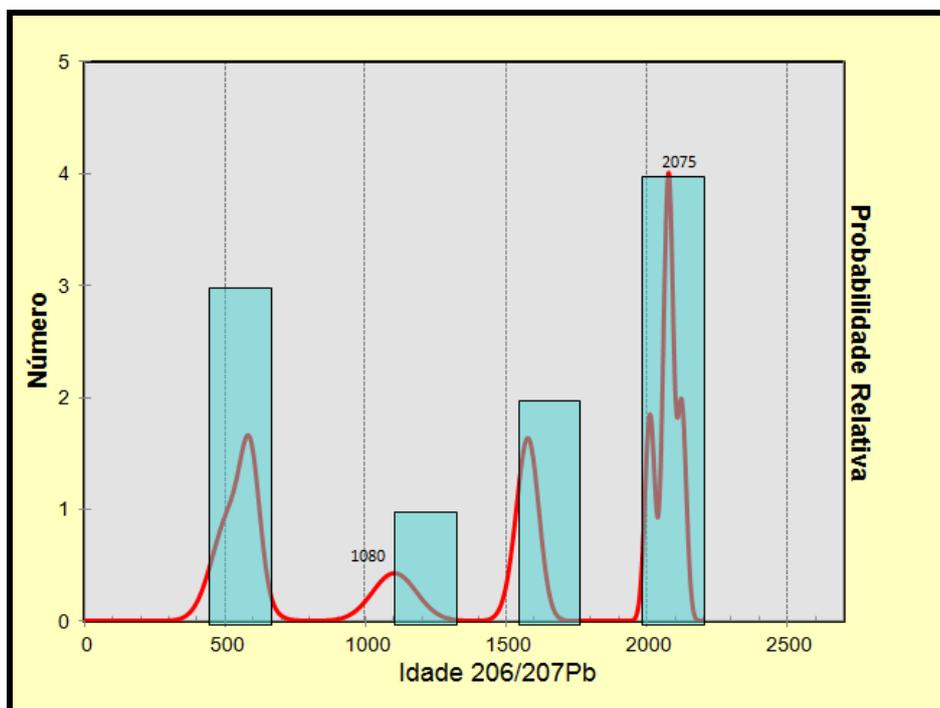


Figura 101. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-08B), apresentando pico elevado em 2,0 Ga.

Os zircões das amostras do afloramento PPE-09, apontam idades de 646 Ma. com maiores concentrações nos intervalos de 1,8-1,5 Ga., com picos elevados em torno de 1,6 Ga., e idade máxima de 2,2 Ga., destacando influência de rochas de idades mesoproterozoicas (Figuras 102 e 103).

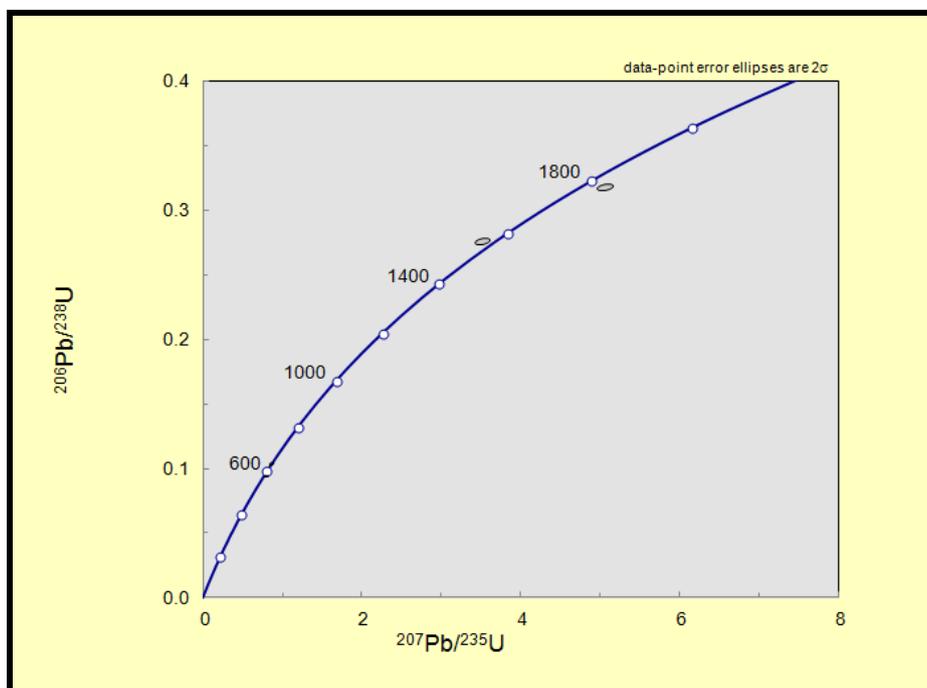


Figura 102. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-09), com idades no intervalo de 1,8-1,4 Ga.

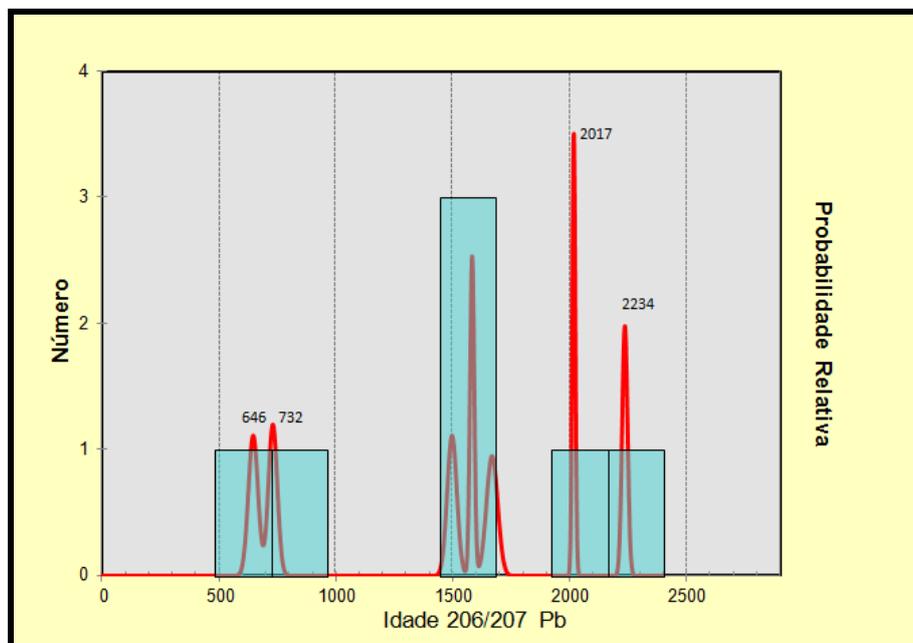


Figura 103. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-09), indicando idade mínima de 646 Ma. e idade máxima de 2,2 Ga.

Os zircões da amostra PPE-11 da Formação Suape, apresentam idades mínimas no intervalo de 600 Ma. e idades máximas registradas em torno 2.5 Ga. com picos mais elevados em torno de 600 Ma., e entre 1,8-1,4 Ga., (Figuras 104 e 105).

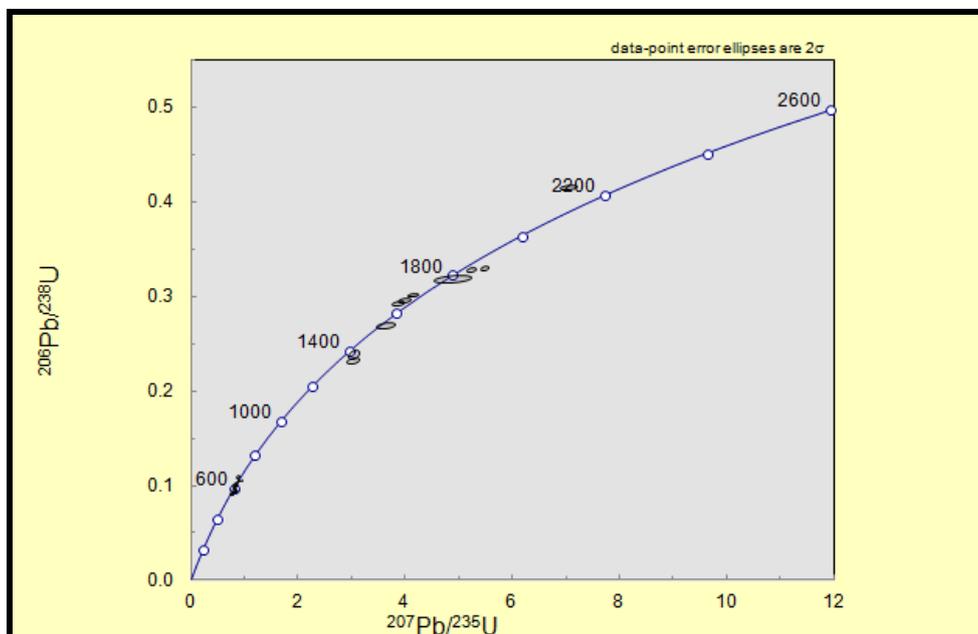


Figura 104. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-11), com idades no intervalo de 600 Ma. e 1,8-1,4 Ga.

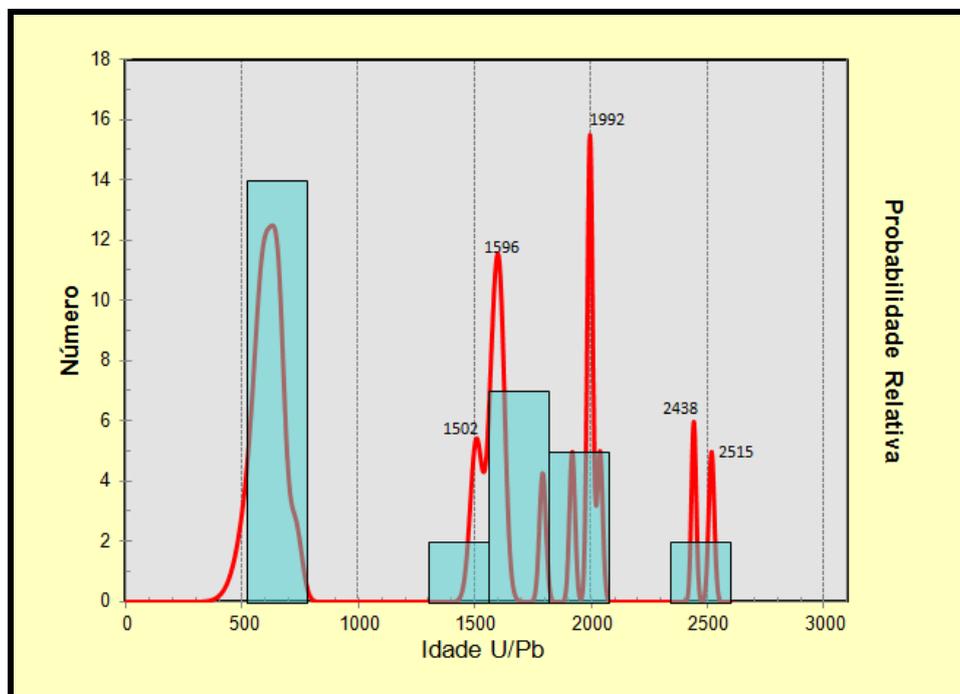


Figura 105. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-11), de idade mínima no intervalo de 500 Ma. e 2,5 Ga. de idade máxima .

Os zircões da amostra PPE-13 da Formação Suape, apresentam idades concentradas, segundo o gráfico de Concórdia, entre 620 e 580 Ma., com picos mais elevados em torno de 616 Ma. e menores nos intervalos de 772 Ma. (Figuras 106 e 107).

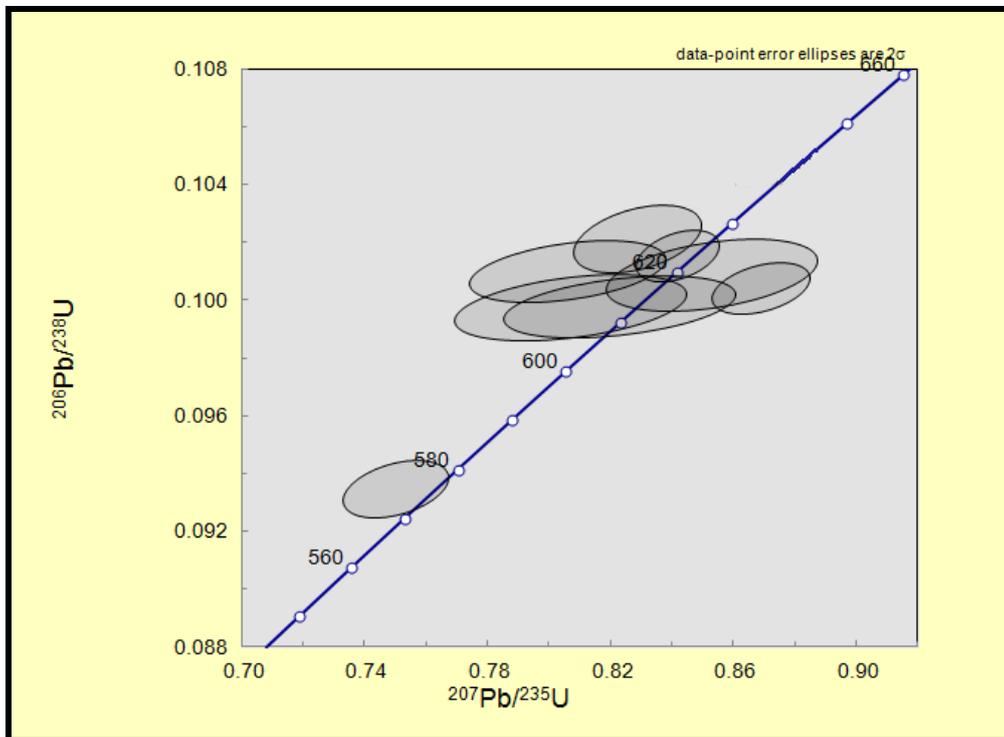


Figura 106. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-13), com idades no intervalo de 620-580 Ma.

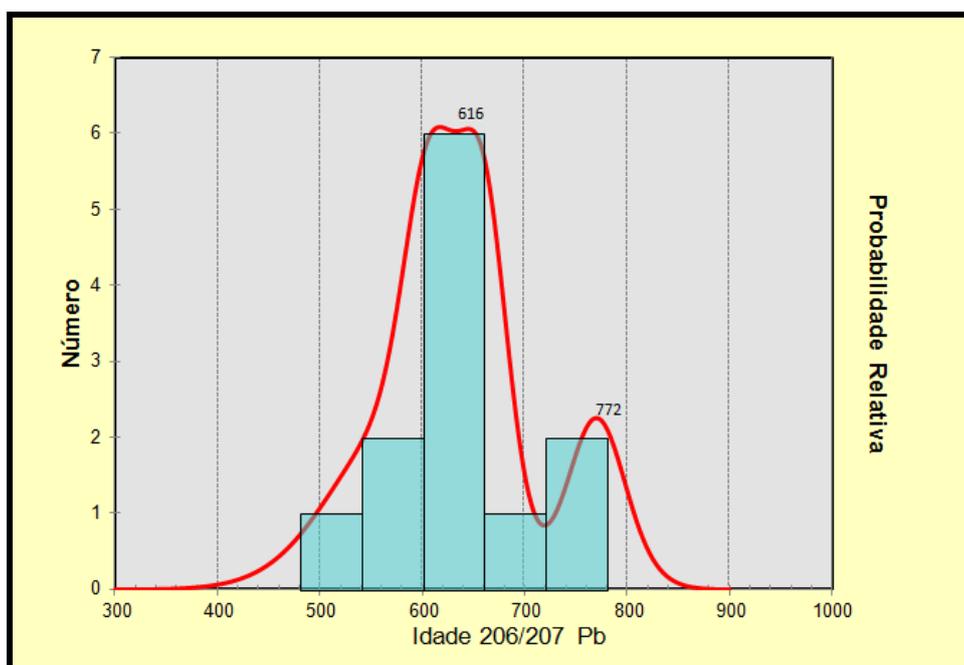


Figura 107. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-13), com picos elevados em 616 Ma. e mais baixos em 772 Ma.

Os zircões do afloramento PPE-14 da Formação Suape, apresentam idades muito semelhantes aos zircões da amostra anterior, nos intervalos de 610, 664, 771 e 900 Ma., indicando que ambas possuem contribuições de rochas neoproterozoicas (Figuras 108 e 109).

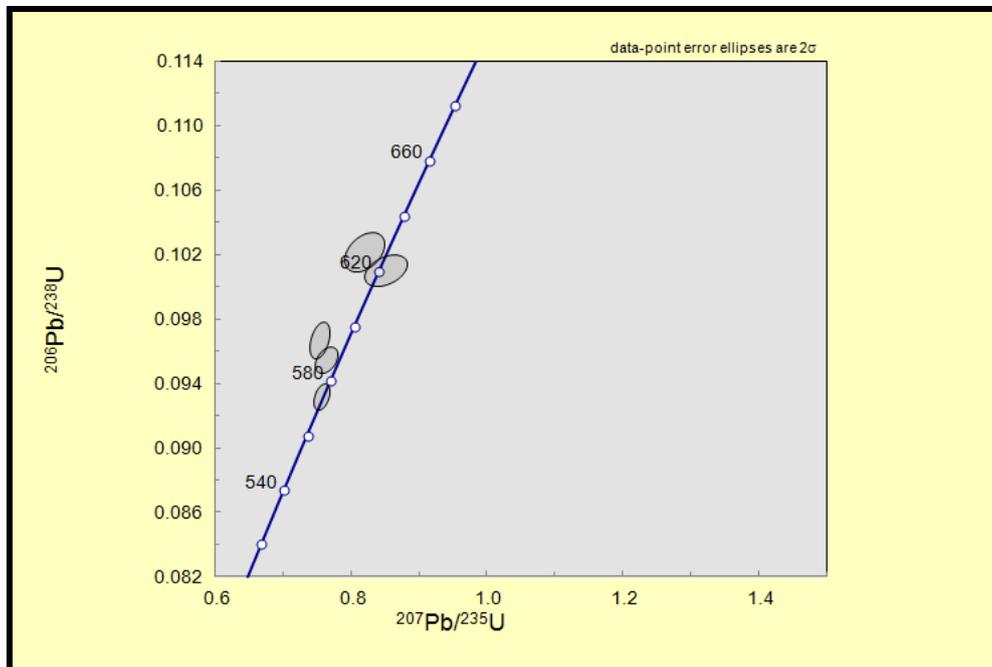


Figura 108. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-14), com idades no intervalo de 620-580 Ma.

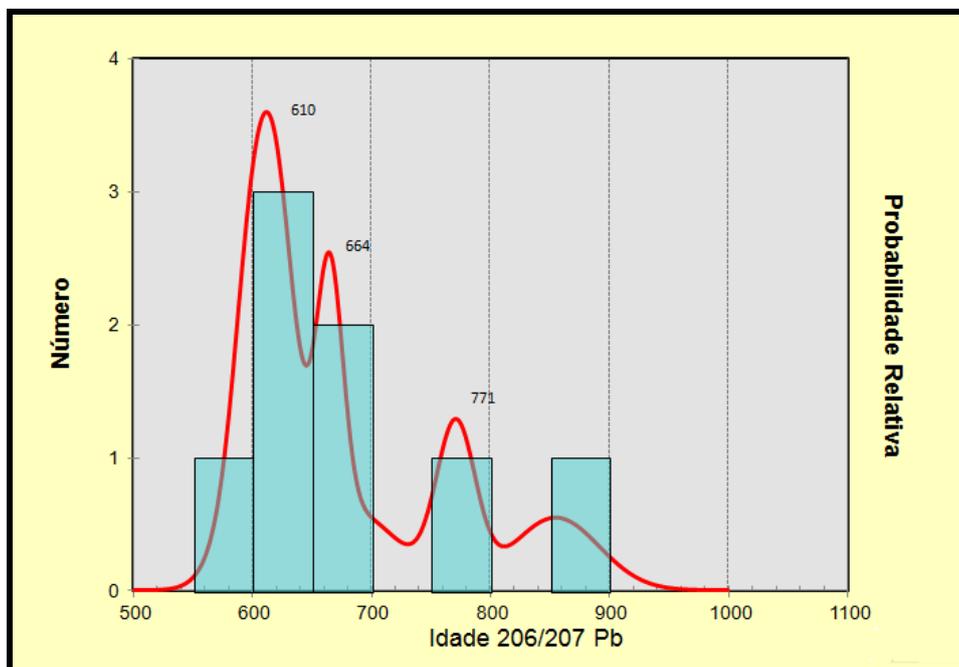


Figura 109. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Suape (amostra PPE-14), com picos elevados em 610 Ma., e menores em 900 Ma.

Os zircões do afloramento PPE-16 da Formação Suape, apresentaram idades nos intervalos de 600 Ma. e 1,1 Ga., segundo a curva de concórdia, no entanto, no gráfico de probabilidade, a idade alcança 2,3 Ga., com concentrações elevadas em 1,8 Ga., (Figuras 110 e 111).

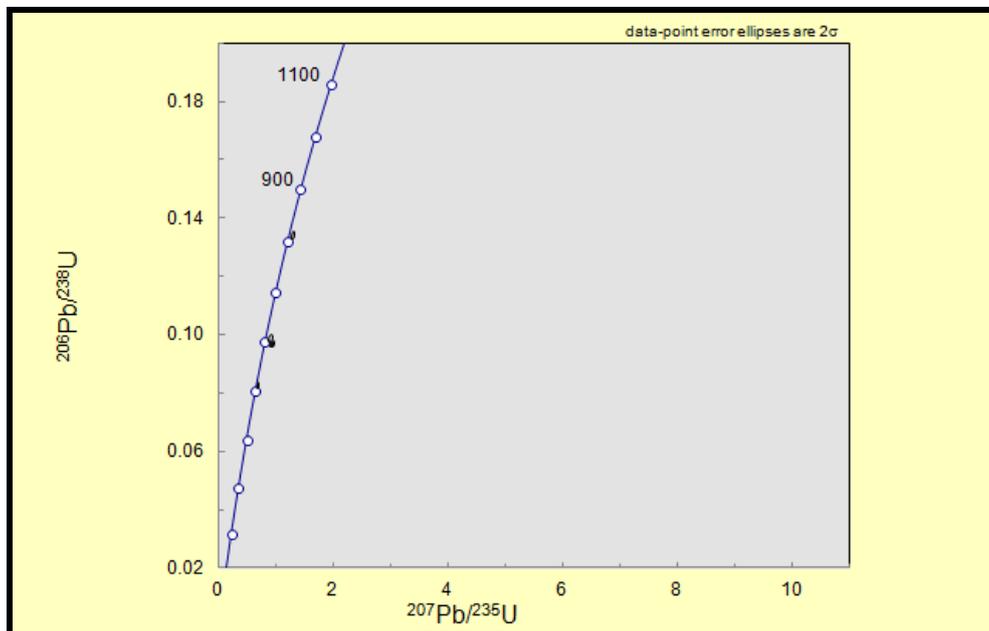


Figura 110. Curva de Concórdia das idades dos zircões detriticos da Formação Suape (amostra PPE-16), com idades até 1,1 Ga.

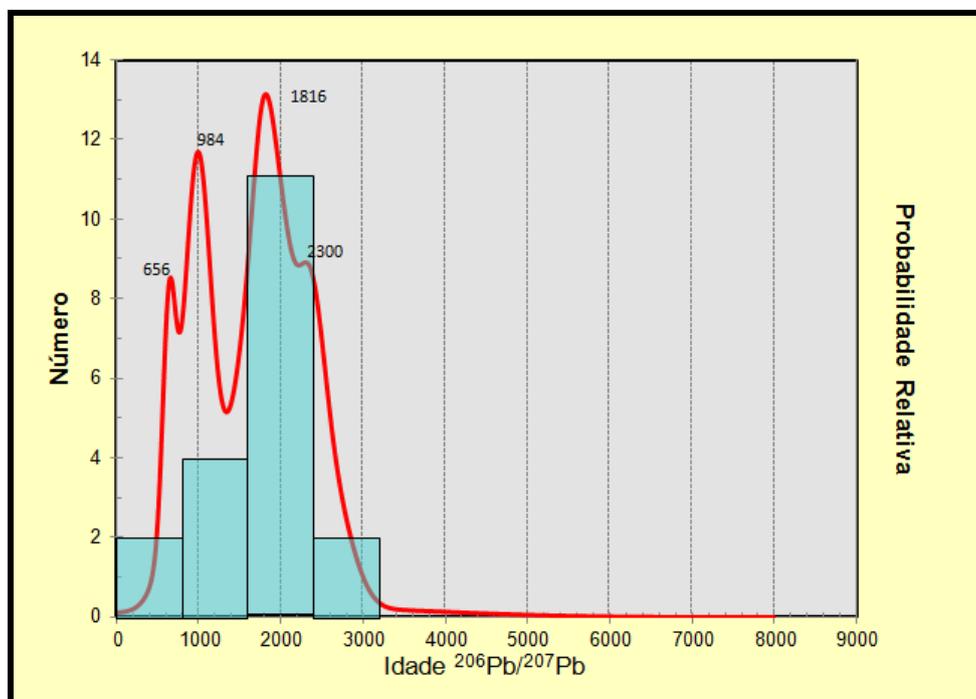


Figura 111. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detriticos da Formação Suape (amostra PPE-16), com idades concentradas em 1,8 Ga.

Os zircões do afloramento PPE-18 da Formação Suape, apresentaram idades no intervalo de 649 Ma. e 1,8 Ga. de idade máxima, conforme o gráfico de probabilidade relativa (Figuras 112 e 113).

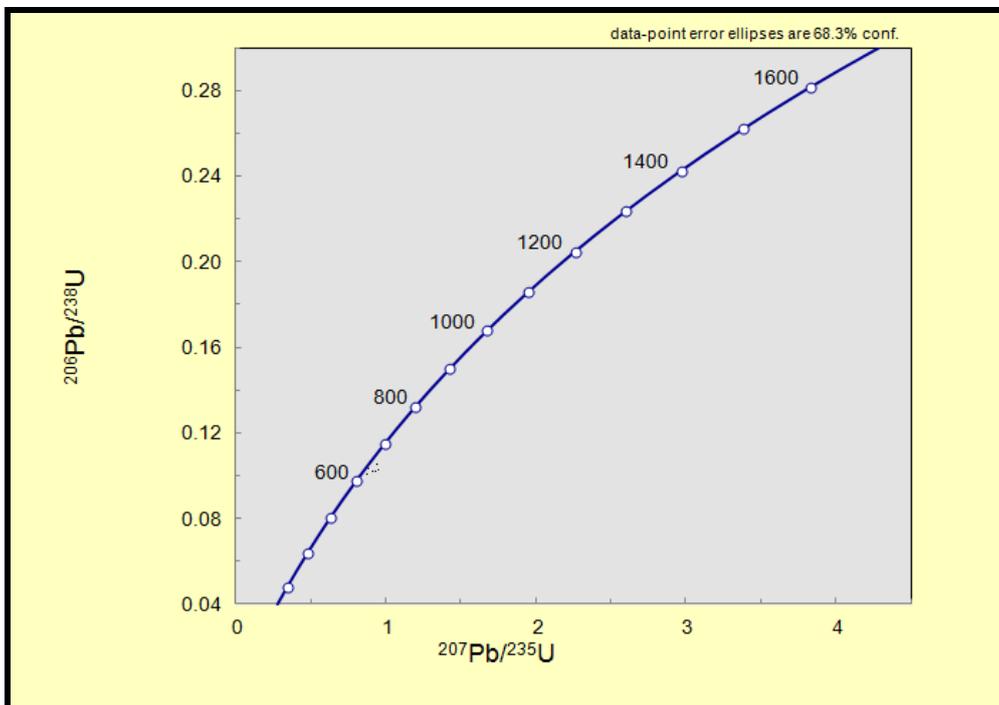


Figura 112. Curva de Concordância das idades dos zircões detriticos da Formação Suape (amostra PPE-18), apresentando intervalo entre 1,6 Ga. a 600 Ma.

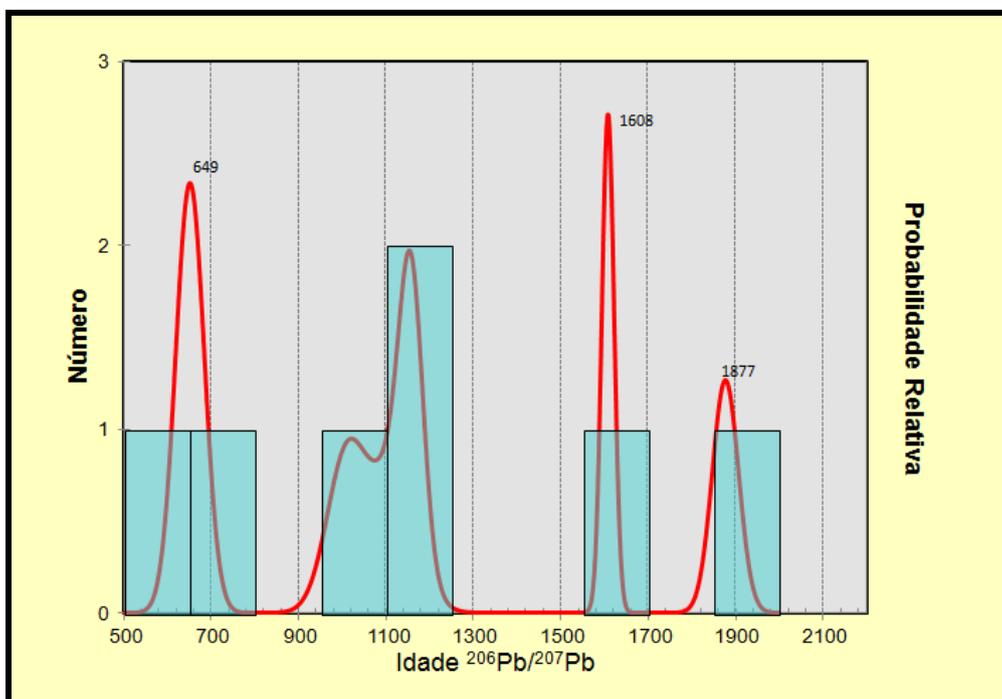


Figura 113. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detriticos da Formação Suape (amostra PPE-18), com picos elevados em 1,6 Ga.

Os zircões do afloramento PPE-19, apresentaram idades entre 2,6 Ga. e 600 Ma., segundo a curva de concórdia, com picos elevados em 630 Ma. e menores em 2,0 Ga., (Figuras 114 e 115).

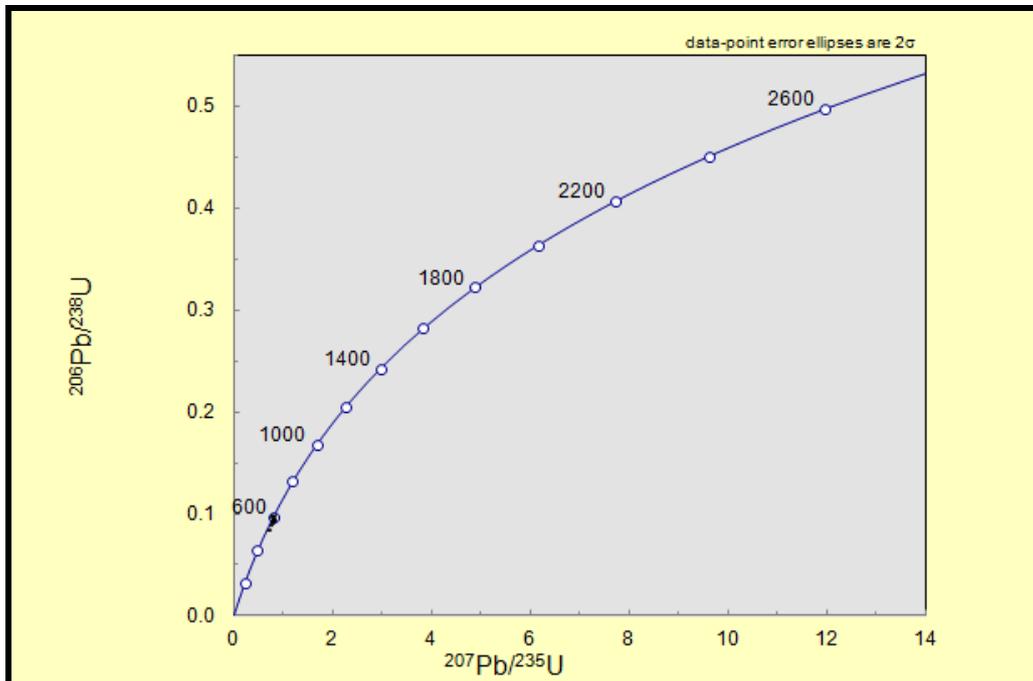


Figura 114. Curva de Concórdia das idades dos zircões detriticos da Formação Suape (amostra PPE-19), apresentando idades entre 2,6 Ga. e 600 Ma.

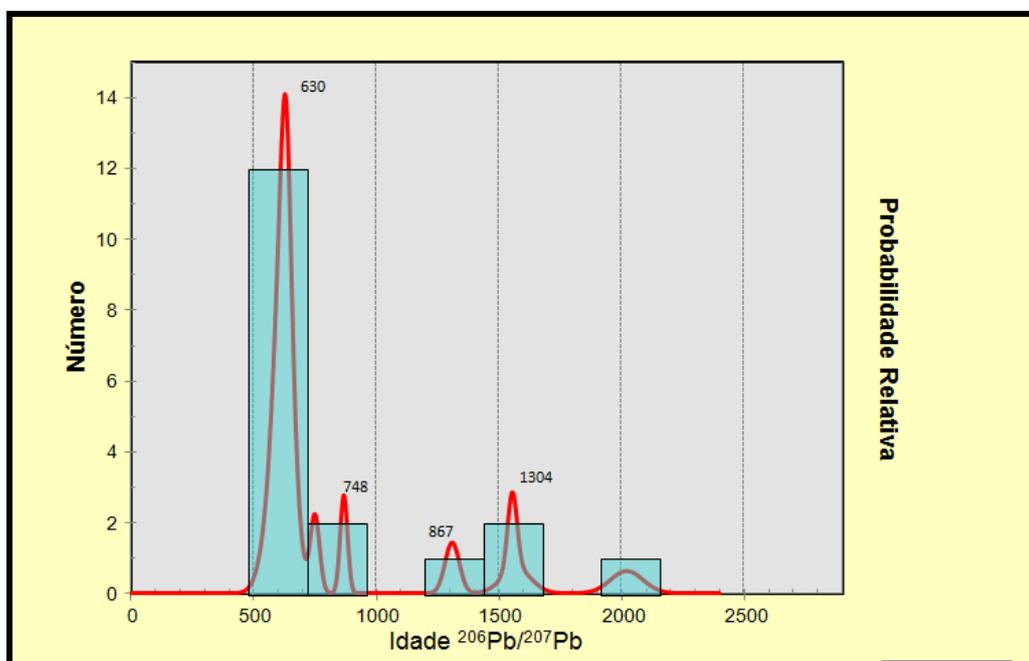


Figura 115. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detriticos da Formação Suape (amostra PPE-19), com picos elevados em 630 Ma. e menores em 867 Ma. e 2,0 Ga.

Quanto à estrutura interna dos zircões da Formação Suape observam-se grãos prismáticos com núcleos nebulíticos contendo inclusões e fraturamento intenso (Tabela 06). Apresentam zoneamentos magmáticos, com duas etapas de desenvolvimento, as primeiras zonas dos núcleos apresentam-se mais escura, porém, com zoneamentos tênues. Em seguida, se observa uma parte central entre a zona do núcleo, e a periferia, que evidencia um zoneamento mais marcado e mais fino (Figura 116A).

Outros grãos apresentam núcleos intensamente fraturados e caóticos, com zoneamentos progressivos, com pelo menos três fases de crescimento, evidenciados pelas partes mais claras. As idades registradas foram de 1.9 Ga. no centro do grão, e 1,4 Ga. nas bordas (Figura 116B). Foram observados também, grãos em forma prismática e hábito acicular com zoneamentos magmáticos e idade de 534 Ma. (Figura 116C). E por último, grãos com núcleos e zoneamentos nebulíticos (sugerindo zonas de reabsorção), com zoneamento muito tênue, magmático fino e bem definido nas pirâmides superiores dos grãos (Figura 116D).

Tabela 06. Descrição da estrutura interna dos zircões da Formação Suape e análise das fases de cristalização por MEV- CL.

Grão A	Prismático	Centro mais escuro individualizado, fase de crescimento evidenciada em volta do núcleo central mais claro.
Grão B	Prismático	Núcleo intensamente fraturado e caótico, e zoneamento progressivo, com pelo menos 3 fases de crescimento.
Grão C	Prismático (hábito acicular)	Ausência de zoneamento central, ou muito tênue na pirâmide inferior.
Grão D	Prismático (hábito acicular)	Centro nebulítico indiferenciado, zoneamento evidenciado nas pirâmides.

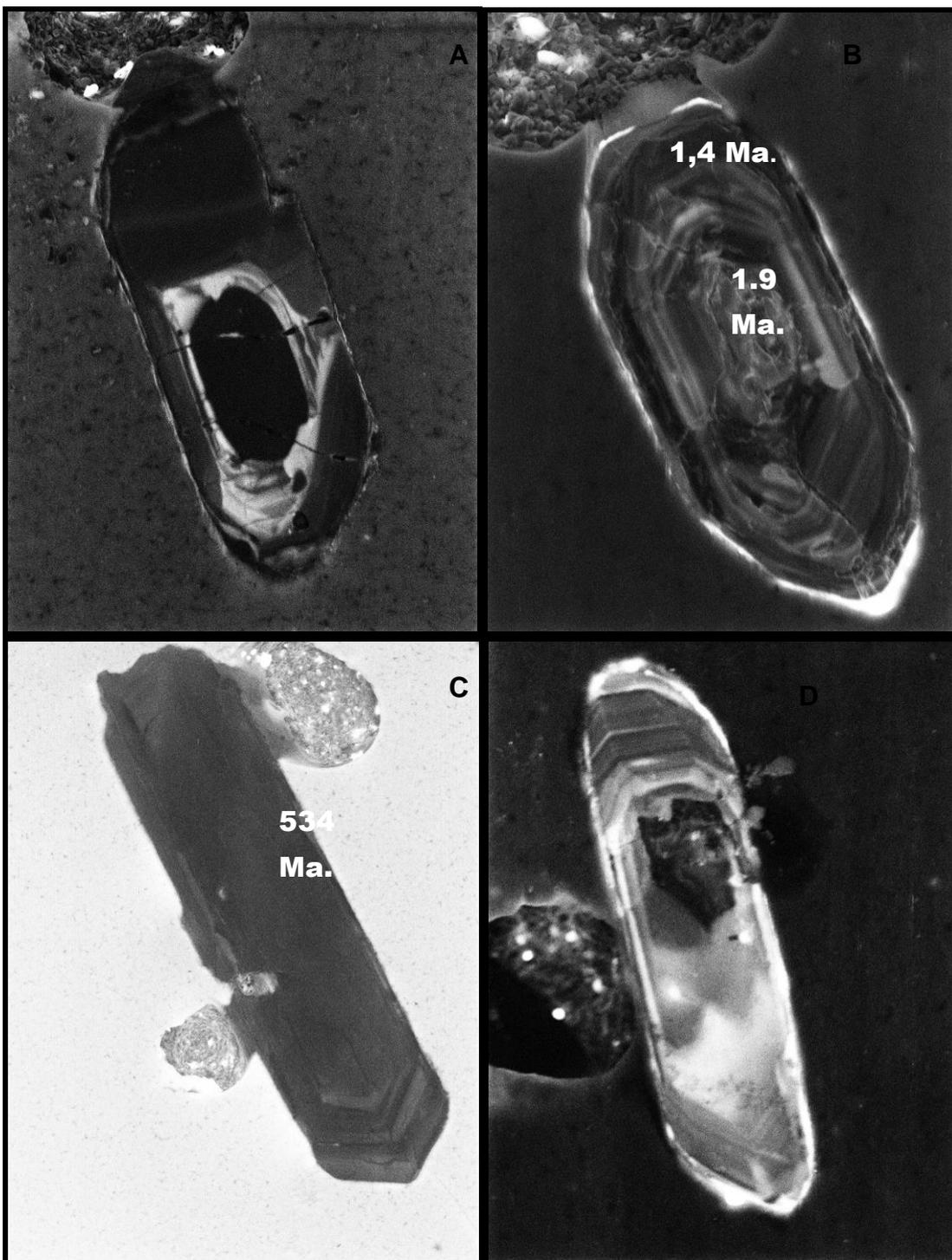


Figura 116. Imagens da estrutura interna de zircões da Formação Suape. Prismático com centro escuro evidenciando zona de absorção, com idade mais antiga de 1,9 Ga. e mais nova 1,4 Ga. (A); prismático fraturado e núcleo caótico com diversas fases de crescimento até as bordas (B), (amostra PPE-11); grão acicular, não apresenta fase de crescimento, com idade de 534 Ma. (C); prismático com centro nebulítico em todo prisma e crescimento tênue nas pirâmides (D), (amostra PPE-13).

Na Formação Paraíso (afloramento PPE-20), os zircões apresentam idades nos intervalos de 1,8 e 500 Ma., com picos elevados 1,8 Ga., e menores em 1,0-1,5 Ga. (Figuras 117 e 118). No entanto, nessa Formação foi verificada a menor idade registrada em um grão de zircão (Anexo 04), mínima de 480 Ma. (Figura 119).

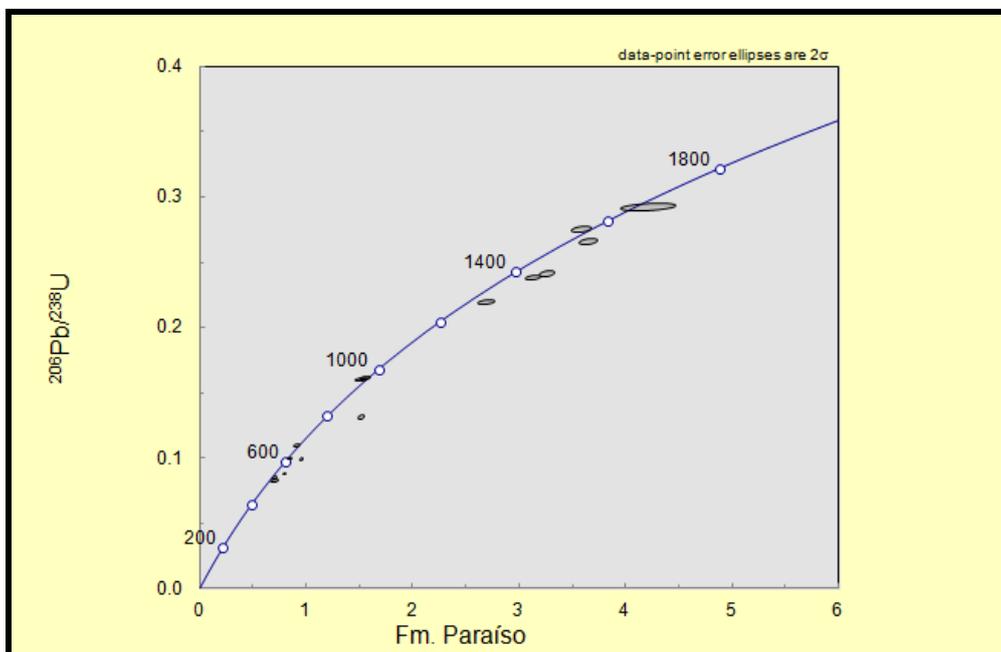


Figura 117. Curva de Concórdia das idades dos zircões detriticos da Formação Paraíso (amostra PPE-20), apresentando intervalo de 1,8 Ga. a 600 Ma.

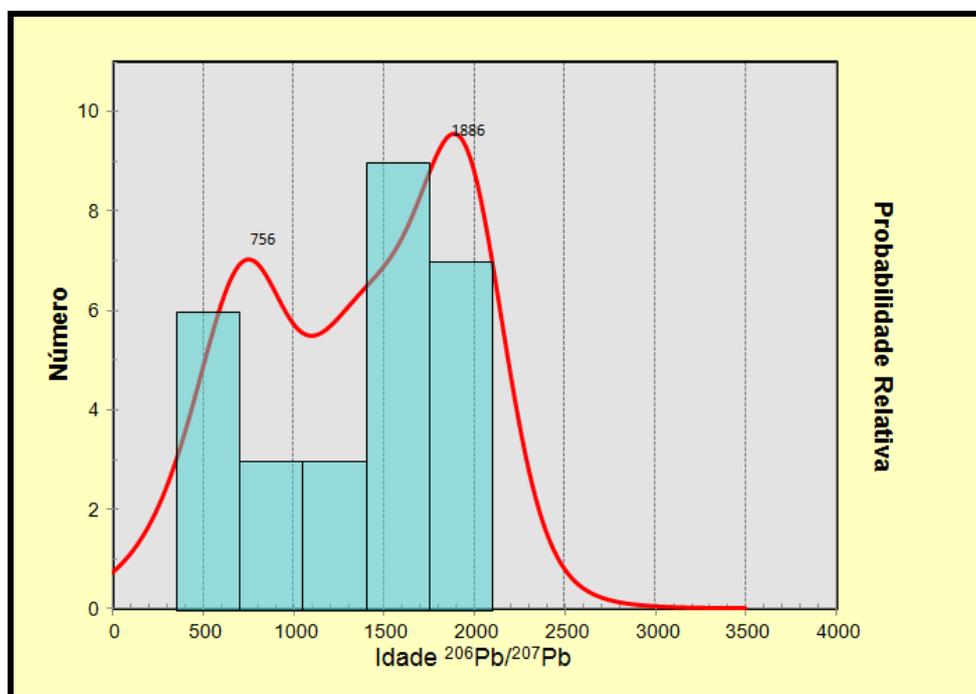


Figura 118. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detriticos da Formação Paraíso (amostra PPE-20), com picos elevados em 1,8 Ga.

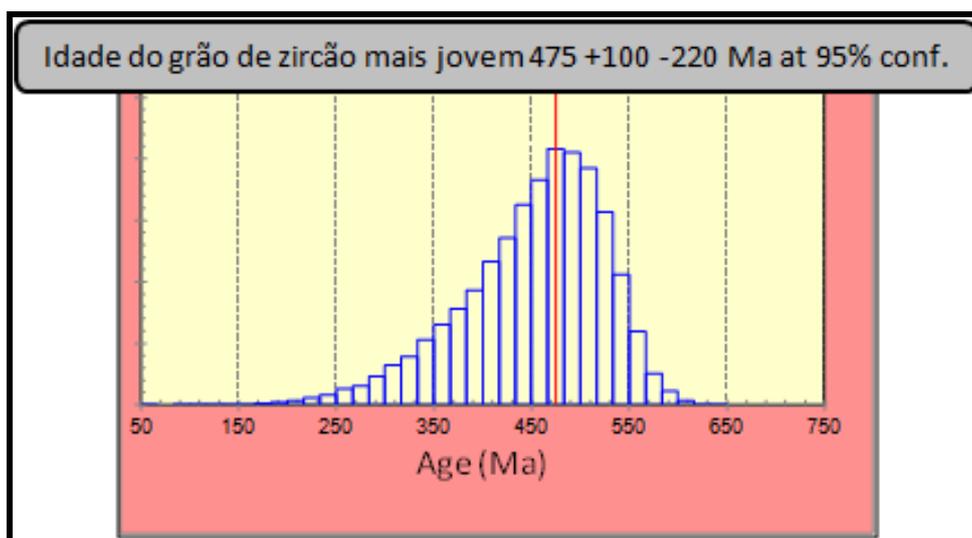


Figura 119. Gráfico indicando menor idade para o grão de zircão pertencente à Formação Paraíso de 480 Ma.

Quanto às análises das estruturas internas, foram encontrados grãos prismáticos com terminações mais arredondadas e núcleos evidenciados pelas partes escuras e individualizados (Tabela 07), (Figura 120A). Foram identificadas idades de 1,0 Ga. e idade de recristalização de 1,7 Ga. Grãos com núcleos pouco individualizados (Figura 120B). Grãos com centros nebulíticos, em todo o prisma, com idade de 1,7 Ga. e desenvolvimento de fases de crescimento nas pirâmides, com idade de 1,6 Ga. (Figura 120C). E por último, grãos com cristalizações magmáticas, tênues e graduais com idades de cristalização 1,5 Ga. e mais nova 948 Ma. (Figura 120 D).

Tabela 07. Descrição da estrutura interna dos zircões da Formação Paraíso e análise das fases de cristalização por MEV- CL.

Grão A	Prismático	Zoneamento bastante tênue, com duas fases de crescimento. Apresenta núcleo mais escuro e difuso.
Grão B	Prismático	Zoneamento difuso em quase todo o grão. Crescimento evidenciado pelas partes mais claras.
Grão C	Prismático	Centro nebulítico em todo o prisma e desenvolvimento de fases de crescimento nas pirâmides.
Grão D	Prismático	Cristalização tênue gradual.

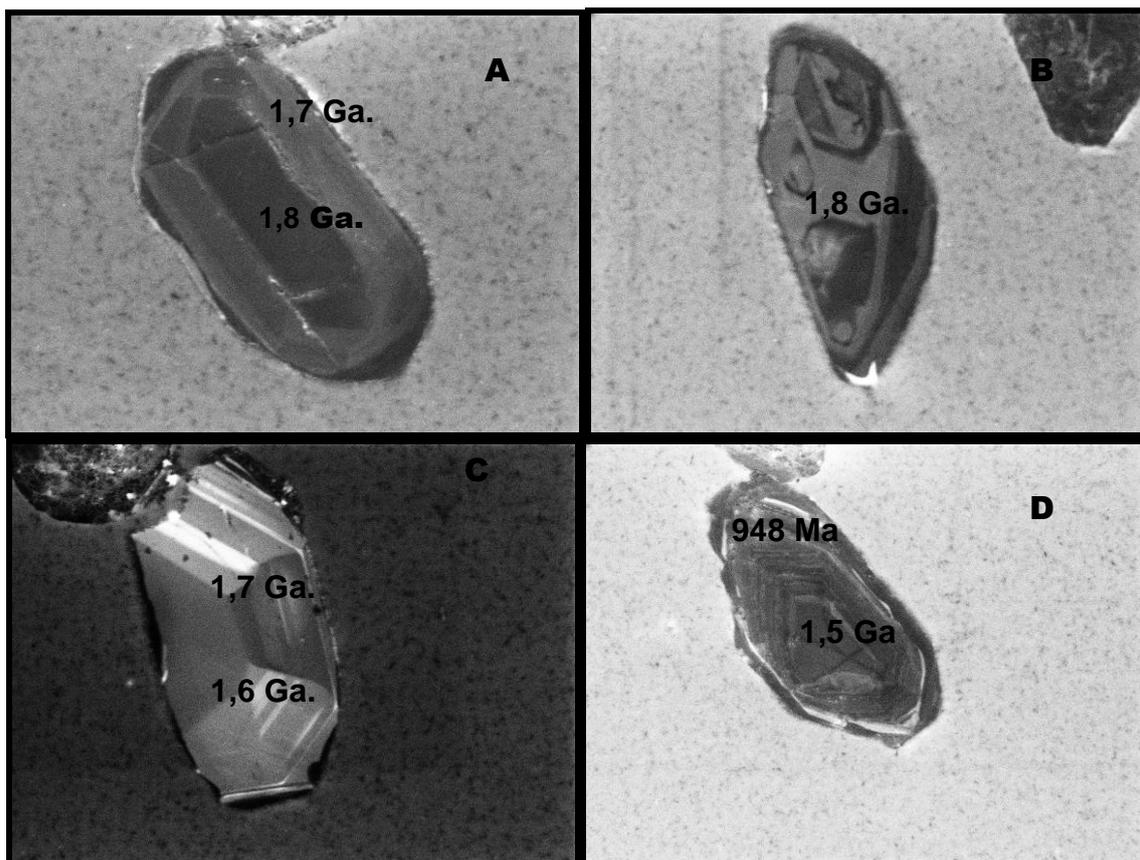


Figura 120. Estrutura interna de grãos de zircão (amostra PPE-20). Mineral com núcleo pouco individualizado (A); com estrutura difusa, apresentando idade de 1,8 Ga. (B); com centro nebulítico em todo o prisma com idade de 1,7 Ga. e desenvolvimento de fases de crescimento nas pirâmides com idade de 1,6 Ga. E por último, grão com cristalização magmática, tênue e gradual com idade de cristalização 1,5 Ga. e mais nova 948 Ma. (D).

Os zircões da Formação Barreiras apresentam formas prismáticas, e sua estrutura interna indicou cristalizações graduais, alguns com presença de fraturas e núcleos caóticos.

Os zircões do afloramento PPE-21 apresentam idades no intervalo de 2,2 Ga. e 500 Ma., com picos elevados em 697 Ma. e menores em 1,9 Ga. (Figura 121 e 122). Os zircões do afloramento PPE-22 apresentam intervalos de idades, conforme a curva de concórdia, entre 700-550 Ma. com picos elevados em 700 Ma. No entanto, o gráfico de probabilidade relativa alcança, apesar de mais baixos, picos no intervalo de até 2,0 Ga. (Figura 123 e 124).

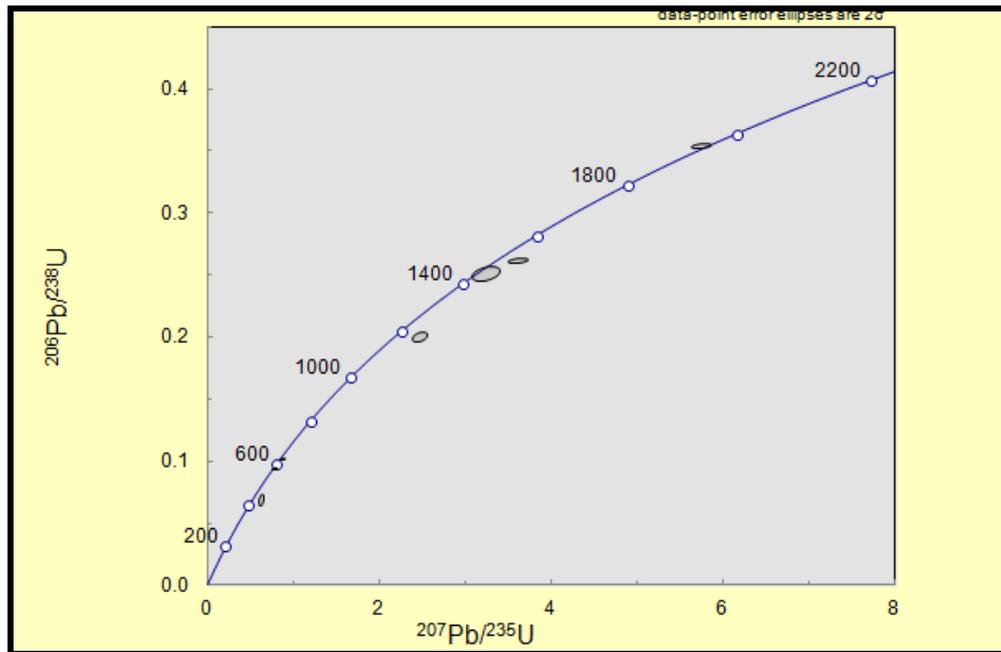


Figura 121. Curva de Concórdia das idades dos zircões detriticos da Formação Barreiras (amostra PPE-21), apresentando intervalo de 2,2 Ga. a 500 Ma.

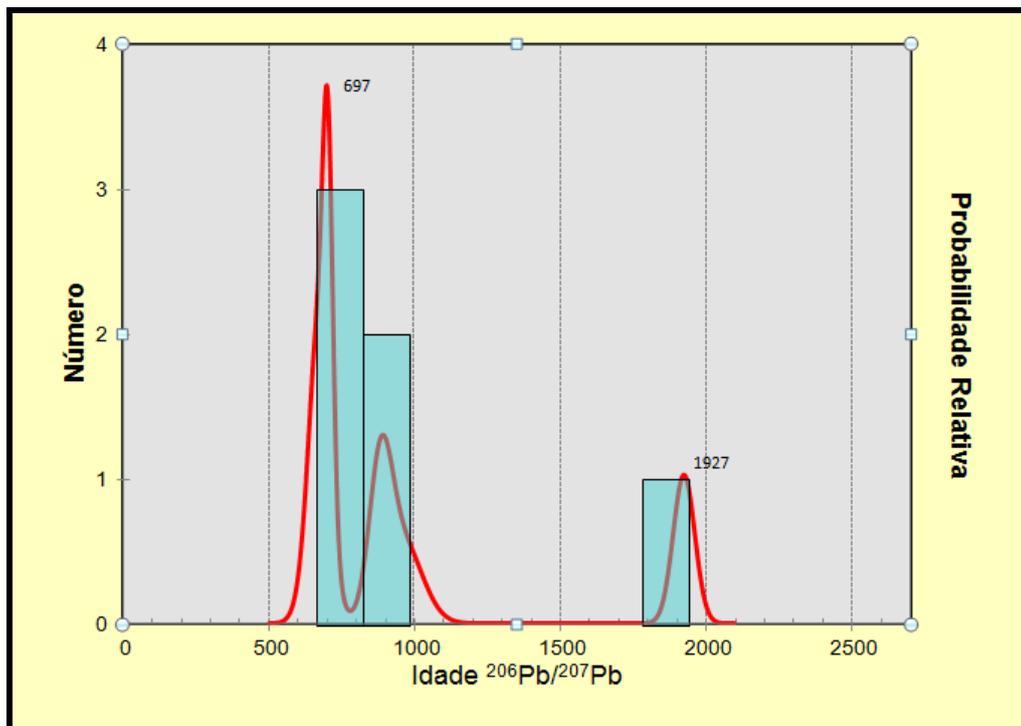


Figura 122. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detriticos da Formação Barreiras (amostra PPE-21), com picos elevados em 697 Ma. e mais baixos em 1,9 Ga.

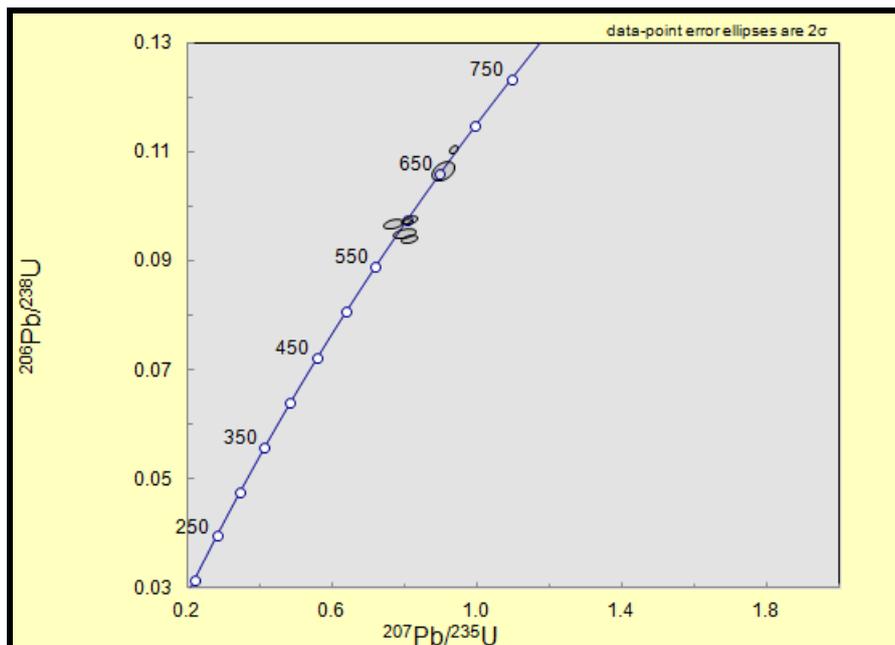


Figura 123. Curva de Concórdia das idades dos zircões detríticos da Formação Barreiras (amostra PPE-22), com idades no intervalo de 700-550 Ma.

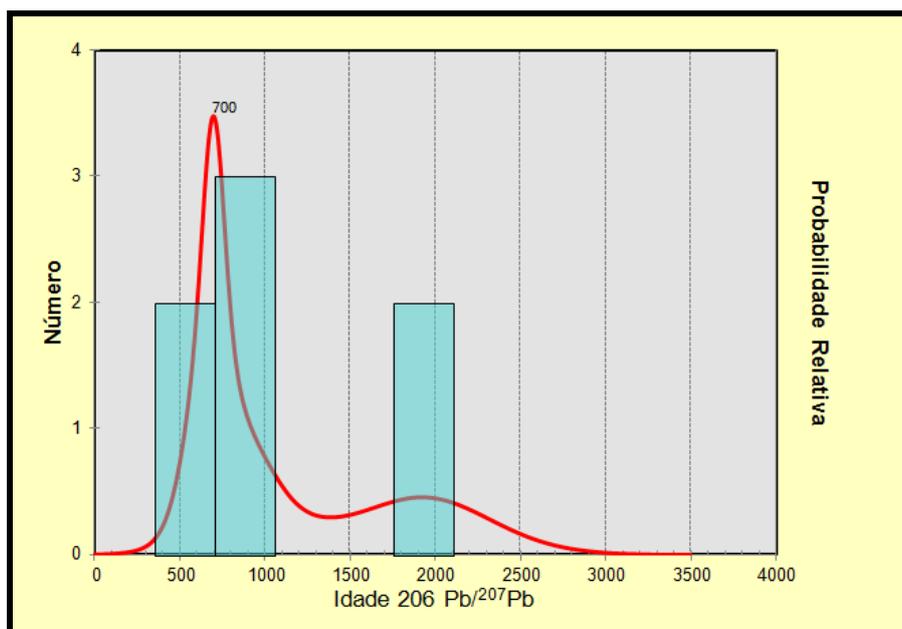


Figura 124. Gráfico de probabilidade relativa das idades dos zircões detríticos da Formação Barreiras (amostra PPE-22), com pico elevado em 700 Ma.

Tanto as análises das associações dos minerais pesados, quanto às datações em zircões detríticos, apontam para fontes relacionadas a granitos e pegmatitos neoproterozoicos, por gnaisses e xistos paleoproterozoicos do Complexo Belém do São Francisco, além de fontes mesoproterozoicas relacionadas a metassedimentares e metavulcânicas do Cariris Velhos (Figura 119).

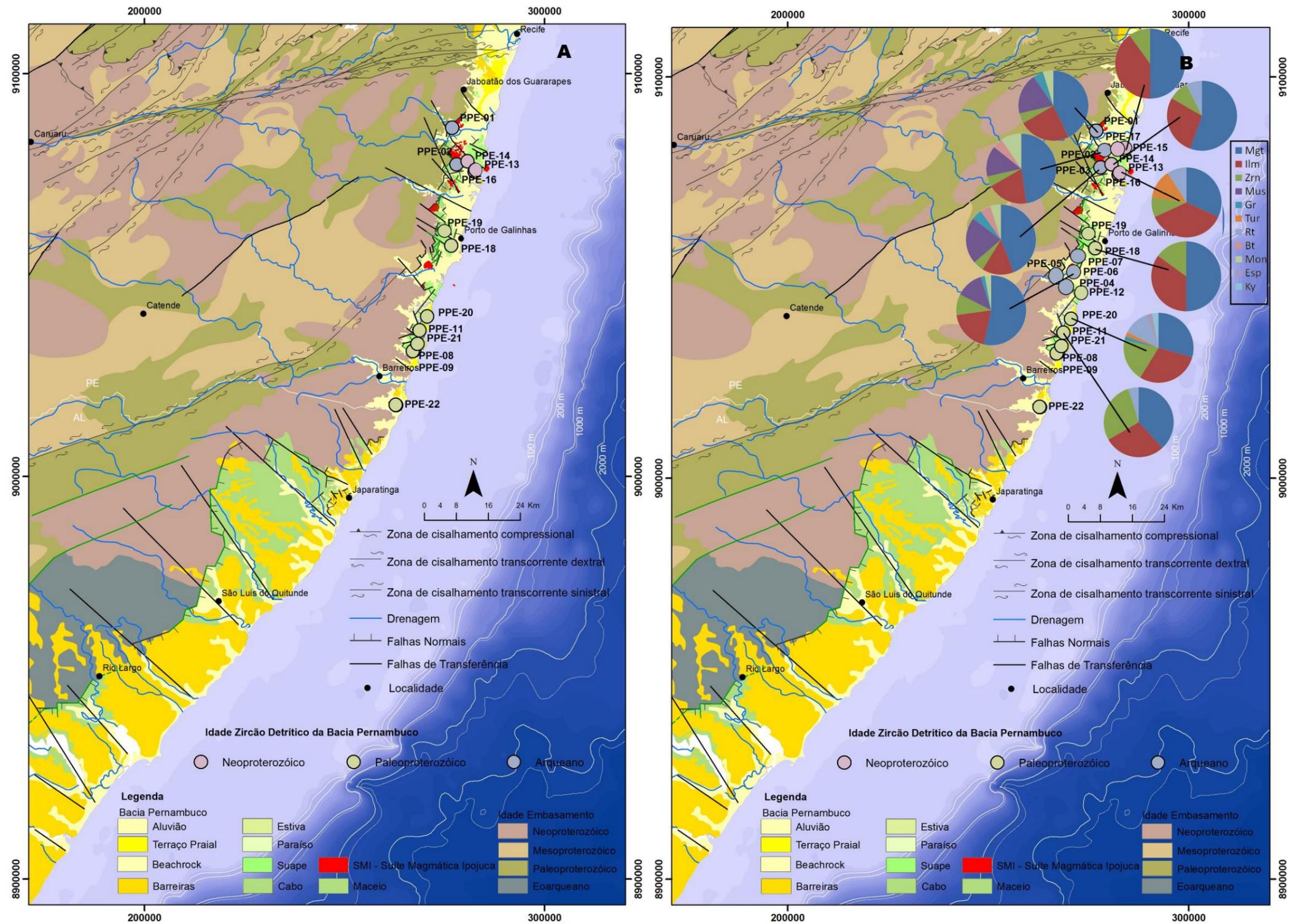


Figura 125. Mapa da distribuição dos pontos de acordo com as idades em zircões de amostras da Formação Cabo (PPE-01 e PPE-03), de idade máxima arqueana. Formação Suape (PPE-08, PPE-09, PPE-11, PPE-16, PPE-18, PPE-19) de idade máxima paleoproterozoica, e (PPE-13 e PPE-14) de idade neoproterozoica. Formação Paraíso (PPE-20), de idade paleoproterozoica e Formação Barreiras (PPE-21 e PPE-22), de idade paleoproterozoica (A). E distribuição das assembléias de minerais pesados para cada formação (B). Adaptado de Correia, (2015)

CAPÍTULO 6

DISCUSSÕES

A importância dos minerais pesados no estudo de depósitos sedimentares é amplamente reconhecida. Na literatura alguns dos dados encontrados sobre minerais pesados nas unidades clásticas (Aptiano-Albiano), da Bacia de Pernambuco, foram registradas a partir de estudos petrográficos em lâminas de arenitos da Formação Cabo, como a biotita e muscovita (Lima Filho, 1998), na Formação Suape como muscovita, biotita, clorita, zircão e granada (Maia, 2012) e na Formação Paraíso, clorita e biotita (Campelo, 2004). No entanto, dados no âmbito das associações mineralógicas dos sedimentos e datações em zircões detríticos dessas unidades, ainda não tinham sido gerados.

Comparando os resultados obtidos, nos depósitos da Formação Cabo, localizados na porção oeste da bacia, são encontrados minerais da associação ígnea como: magnetita, ilmenita, zircão e monazita; da associação metamórfica, granada, muscovita e biotita, com concentrações elevadas de minerais estáveis, principalmente nos depósitos proximais (PPE-01 e PPE-02), em contrapartida os localizados nas porções distais apresentam concentrações menores.

A granada é um exemplo de mineral estável encontrado em grande proporção na Formação Cabo. As granadas se formam em áreas com moderada a baixa precipitação, pobre drenagem e água de solo neutra a alcalina (Chamley, 1989; Rossetti *et al.*, 2001). O que sugere que em regiões áridas ou semi-áridas, suas bases são retidas (Na, K, Ca e Mg), tornando o ambiente intempérico alcalino. Alguns autores citam que sob estas condições, elevados teores de granada do tipo Almandina, em arenitos do Albiano (igualmente identificada nas amostras), foram preservadas.

A concentração de muscovita também é bastante elevada na Formação Cabo, porém, ao contrário da granada, os maiores índices de muscovita estão localizados principalmente nos depósitos distais, onde foram identificadas duas variedades, uma de coloração verde e outra de coloração branco prata, esse último também, conhecido como mica hidratada, e tem sua origem associada aos níveis de potássio menores e maiores concentrações de água, o que pode ser indicativo de clima mais úmido nas porções distais desses depósitos (Pereira *et al.*, 2005).

A Formação Cabo apresenta feições sedimentológicas que sugerem a dominância de sistemas de leques aluviais de grande porte, formados através do sistema de drenagem radial, responsável pelo preenchimento sedimentar da depressão formada pela bacia interna da Bacia de Pernambuco (Maia, 2012). As fontes de onde esses sedimentos provêm estão relacionadas, segundo os dados das associações, aos granitos e pegmatitos do Neoproterozoico e gnaisses e xistos do Paleoproterozoico.

Quanto aos zircões, na Formação Cabo apresentam grande variedade morfológica. Os grãos prismáticos apresentam duas a três fases de crescimento e cristalizações graduais, com zonação setorial em direção as bordas dos grãos, o que evidencia um lento crescimento gradual (difusão lenta), associado às superfícies com enriquecimento em certos elementos traços (Watson e Liang, 1995). Já os grãos em prismas, apresentam grande desgaste físico (fraturas conchoidais), e químico (aspectos de dissolução), com zoneamentos bem marcados nas partes centrais e homogêneos. O zircão é mineral considerado bastante resistente (Nickel 1973, Mange & Maurer 1991, Morton 1999), e a abundância de feições dissolução nestes minerais sugere ação de forte intemperismo químico.

Na Formação Cabo os zircões forneceram idades mais jovens de 786 Ma. nas bordas, e mais antiga, arqueana de 3.0 Ga., no centro do grão. Nesse último, foram identificados por WDS elementos traços como Hf, Th e U, preferencialmente indicativo de grãos alterados por processo de metamictização (Colin et al.1993).

Os zircões de idade arqueana encontrados na Formação Cabo podem provir de um núcleo de rochas formadas por ortognaisses tonalíticos a graníticos, que fazem parte do Domo Jirau do Ponciano, localizado em Alagoas. Existem também, registros de rochas arqueanas localizadas no Maciço São José de Campestre, leste do Rio Grande do Norte, com ~3,41 Ga., formado por gnaisses tonalíticos a quartzo dioríticos, sendo um dos mais antigos núcleos cratônicos da Plataforma Sul-Americana (Dantas et al., 2004). Esses zircões são remanescentes de rochas arqueanas, que persistiram apesar dos retrabalhamentos posteriores de dois ciclos orogênicos (Cariris Velhos e Brasileiro), sobrepostos (Santos *et al.*, 2002).

A Formação Suape contém em sua maioria, minerais referentes à associação ígnea, como: magnetita, ilmenita, zircão, turmalina e rutilo, esses dois últimos minerais, foram encontrados em proporções relativamente maiores, comparadas as outras formações. A turmalina rica em Fe, encontrada nas amostras, sugere proveniência de fontes graníticas e pegmatíticas. O rutilo presente na Formação Suape, apresentou elementos traços de Urânio em sua composição. Alguns autores apontam evidências de enriquecimento desse elemento em alguns minerais, possivelmente recorrentes de processos relacionados aos estágios tardios de evolução e cristalização de pegmatitos na região (Silva *et al.*, 2010).

Nas formações Suape e Paraíso, os índices dos minerais estáveis, caem drasticamente, as causas das perdas podem está relacionadas ao relevo e as condições físicas e químicas na área de deposição, ou até mesmo, as diferenças de porosidade e permeabilidade. Quanto mais altas as taxas de porosidade e permeabilidade, mais facilmente ocorre movimento do fluido nos poros, aumentando desse modo, as taxas de dissoluções dos minerais, (Blatt & Sutherland 1961; Bramlette 1941). Estes mesmos autores afirmam, por essa razão, que arenitos com cimento carbonático, como nos depósitos na Formação Cabo, podem preservar melhor as assembléias de minerais pesados, em comparação a arenitos friáveis adjacentes, como exemplo os depósitos na Formação Suape (Morton, 2012).

Enquanto os índices de minerais estáveis decrescem, as análises dos índices (RZ) revelaram variações significativas ao longo da sucessão sedimentar, com possíveis mudanças de proveniência, pois envolvem minerais com estabilidade hidráulica equivalente (rutilo-zircão), indicando que processos geológicos superficiais como a diagênese e o intemperismo, não seriam os responsáveis pela variação da distribuição desses minerais. Este índice apresenta valores elevados nas formações Suape (PPE-09, PPE-11, PPE-12), Paraíso (PPE-20) e Barreiras (21 e 22). As informações obtidas através das análises mineralógicas e estatísticas permitem observar uma mudança no padrão de composição em relação ao setor nordeste da bacia.

A Formação Suape apresenta características que sugerem um domínio de sistemas fluviais, influenciado por clima possivelmente mais úmido que o da Formação Cabo. O que pode ter contribuído para um maior desgaste químico

com perdas de alguns desses minerais, No entanto, o incremento de outros, pode ser devido à modificação da drenagem, passando de radial para axial, que poderia explicar a mudança no padrão de distribuição desses minerais.

Quanto aos zircões da Formação Suape, estes apresentam hábito prismático, com terminações bipiramidais, de coloração rósea e transparente; e menor proporção de coloração creme, com formas externas e internas bem preservadas. Foram também, identificados grãos prismáticos e de hábito acicular, com zoneamentos magmáticos finos e bem definidos nas pirâmides superiores dos grãos e outros com núcleos nebulíticos (sugerindo zonas de reabsorção).

Foram registradas idades máximas para a Formação Suape de até 2,6 Ga.,.Exceto nos pontos PPE-13 e PPE-14, que apresentam idades máximas de até 900 Ma. Nas análises químicas dos grãos desta formação, são encontrados picos mais baixos de háfnio, o que sugere menos ataque químico sofrido por esses minerais ao longo do tempo, e sua forma mais comum alongada é considerado um fator que reflete o grau de velocidade de cristalização, com idade mínima de 534 Ma.

Na Formação Paraíso na associação ígnea foram identificados: magnetita, ilmenita, zircão, rutilo e espodumênio, na associação metamórfica: granada e cianita. Nesta formação é encontrada a maior diversidade mineralógica registrada em comparação as outras formações, o que pode sugerir que esses depósitos são mais jovens. A idade geológica é a principal causa de perda de minerais pesados, com base na observação de que as unidades de arenito mais antigo têm menor diversidade de assembléias de minerais pesados, em comparação com as unidades de arenito mais jovens (Pettijohn, 1941).

Os zircões da Formação Paraíso são encontrados nas amostras, como grãos prismáticos com terminações arredondadas, e raros com terminações bipiramidais. São encontrados também, grãos de morfologia ovóide, típicos de ambientes metamórficos e são interpretados como resultado da reabsorção diferencial por fluidos insaturados em Zr (Hoskin e Schaltegger, 2003).

Alguns grãos de zircão da Formação Paraíso possuem núcleos com zonação convoluta, caracterizada por concentração irregular de elementos traços. Esse tipo de zonação é muitas vezes associada à ação de fluidos tardi-

magmáticos, gerando zonas de dissolução e precipitação, ou até mesmo de recristalização (Geisler *et al.*, 2007). Nesta formação as idades de recristalização foram de 1.7 Ga. e desenvolvimento de fases de crescimento nas pirâmides de 1.6 Ga., além de grãos com cristalizações magmáticas de 1.5 Ga. e mais nova de 948 Ma. As idades máximas registradas foram meso e paleoproterozóicas de 1.8 Ga. e mínima de 480 Ma. Estudos recentes revelaram idades de 1,0 Ga. e 920 Ma. em ortognaisses, metavulcânicas e metassedimentares localizadas entre os complexos estruturais do embasamento, o evento é conhecido como Cariris Velhos e suas idades são mais jovens do que a maioria dos sistemas orogênicos, datando do fim do Mesoproterozóico e início do Neoproterozóico em todo o mundo (Santos *et.al.*, 2010).

Na Formação Barreiras (PPE-21 e PPE-22), os índices ZTR (minerais ultra-estáveis) são elevados, indicando aumento na maturidade mineralógica para esses sedimentos. Os zircões apresentam faces arredondadas, características de minerais originados por sedimentos retrabalhados. As idades para os zircões detríticos foram de até 1,9 Ga. com influência de rochas paleoproterozoicas, e idade mínima de 600 Ma.

Alguns trabalhos sobre a proveniência dos arenitos da Formação Barreiras na Paraíba, como Brito Neves *et al.*, (2009), obtiveram uma mineralogia composta por zircão, turmalina predominantemente; e por cianita, andaluzita, rutilo e estauroлита, subordinadamente entre outros, com valores altos de ZTR chegando a 81%. Esse resultado é comparável a essa pesquisa onde foi constatado o aumento de minerais ultra-estáveis.

Quanto a proveniência Lamus Ochoa *et al.*, (2013) relevou similaridade mineralógica entre as unidades aflorantes (Formação Barreiras e Sedimentos Pós-Barreiras I e II), e que as principais fontes dos depósitos cenozóicos da Bacia Paraíba foram rochas sedimentares preexistentes e, subordinadamente, rochas metamórficas da Zona Transversal da Província Borborema). Outro dado que corrobora para os resultados dessa pesquisa.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Nos depósitos da Formação Cabo (Aptiano), localizados na porção oeste da faixa costeira da bacia de Pernambuco, os minerais pesados encontrados são da associação ígnea formados por magnetita, ilmenita, zircão e monazita. A interpretação das possíveis fontes destes permite relacioná-los a ocorrências de granitos e pegmatitos de idade neoproterozoica. Também foram encontrados nos depósitos desta formação granada (do tipo almandina), muscovita e biotita, que possivelmente tiveram origem a partir de rochas metamórficas que formam o embasamento adjacente a Oeste da bacia representada por gnaisses e xistos paleoproterozoicos do Complexo Belém do São Francisco.

Nos depósitos da Formação Suape (Albiano), foram observadas mudanças na composição mineralógica da associação dos minerais pesados, em relação ao observado na Formação Cabo associada a rochas ígneas plutônicas tais como magnetita, ilmenita, zircão, rutilo e turmalina. Nesta formação não foram identificados minerais como biotita e muscovita, e o único mineral referente à associação metamórfica (paraderivada) encontrado foi a granada. Este apresentou intenso desgaste químico e abundância relativamente menor (2 %). Por se tratar de um mineral abrasivo / resistato, tal observação indica que houve aumento da umidade e da temperatura sugerindo que esses depósitos sofreram influência de clima provavelmente mais úmido, ou que o retrabalhamento intrabacinal foi mais importante do que o observado para os depósitos da Formação Cabo. É possível que a deposição dos sedimentos desta unidade tenha sido influenciada por sistemas de planície de inundação e flúvio-lacustres, devido ao estabelecimento do final da fase rifte na bacia investigada, e início da fase de subsidência termal, a partir do Albiano Médio e Superior, momento de tal deposição.

Nos depósitos da Formação Paraíso (Albiano Superior ?) cujas únicas exposições ocorrem na porção sul-central da Bacia Sedimentar de Pernambuco, foi encontrada uma maior diversidade mineralógica (minerais pesados), em relação ao observado nas unidades mais antigas, revelando um contraste importante de conteúdo. Foram identificados minerais como magnetita, ilmenita, zircão, rutilo, turmalina e espodumênio (mineral associado a pegmatitos e

granitos ricos em lítio). Estes minerais possivelmente provêm de rochas ígneas plutônicas neoproterozoicas do embasamento adjacente. Também foram encontrados cianita e granada, que possivelmente provêm de rochas metamórficas paraderivadas dos CBSF adjacentes.

A análise do conteúdo mineralógico das formações a partir da elaboração do Índice de Minerais Estáveis (MET), permitiram definir que ocorre uma maior concentração destes na Formação Cabo, principalmente nos depósitos proximais. O MET nas formações Suape e Paraíso apresenta um decréscimo marcante (2%), o que confirma a contribuição do embasamento (gnaisses paleoproterozoicas do CBSF) de forma mais efetiva durante a fase rifte da bacia estudada. Os depósitos da fase pós-rifte apresentam menor influência do embasamento (granitos neoproterozoicos) e maior efeito do retrabalhamento intrabacinal.

Em contrapartida, o índice de minerais ultra-estáveis (ZTR: Zircão-Turmalina-Rutilo), apresentou valores elevados nas amostras das formações Paraíso (32%), e Barreiras (35%). O que pode ter resultado do aumento da maturidade mineralógica dos depósitos mais jovens.

Os índices (RZ: Rutilo-Zircão) permitiram observar uma mudança no padrão de composição mineralógica na região nordeste da bacia, com valores elevados nas formações Suape, Paraíso e Barreiras. Esse incremento envolve minerais com estabilidade hidráulica equivalente (rutilo-zircão), o que sugere que processos geológicos superficiais, como o intemperismo, não seriam os responsáveis pela variação observada, mas sim condições do ambiente sedimentar aquoso.

As análises morfológicas realizadas nos grãos de zircão revelaram que a Formação Cabo contém formas prismáticas de coloração rosa e creme, com zonação setorial bem definida, o que é característico de zircões provenientes de rochas ígneas. Também foi encontrada em menor quantidade formas com zonação oscilatória irregular ou convoluta indicando fonte metamórfica com várias fases de recristalização, e grãos prismáticos, de coloração marrom, apresentando intenso desgaste físico (fratura conchoidal), e químico (dissolução), que refletiria especificamente condições de transporte, visto trata-se de um mineral resistato.

Nos depósitos atribuídos a Formação Suape os zircões encontrados possuem formas prismáticas, de coloração rósea e marrom, e alguns de hábito acicular e aspecto transparente. As análises da estrutura interna desses minerais revelaram o desenvolvimento de zonação setorial e oscilatória irregular (fonte metamórfica) com núcleos nebulíticos, o que sugere a formação de zonas de reabsorção. Algumas formas apresentaram zoneamento muito tênue, magmático fino e bem definido.

Nos depósitos da Formação Paraíso foram encontrados grãos de zircão com formato prismático, com terminações arredondadas e ovaladas, de coloração rósea e com núcleos evidenciados pelas partes escuras individualizadas (metamictização). Algumas formas apresentam centro nebulítico, e possivelmente são oriundos de rochas metamórficas. Em menor quantidade foram encontrados zircões com formas prismáticas, com zoneamento bem marcado, possivelmente indicando como fonte rochas ígneas plutônicas.

As análises realizadas para definir as idades dos zircões, a partir do método U e Pb, permitiram indicar que os zircões encontrados na Formação Cabo apresentam idades de 700 e 500 Ma., e de 3,0 e 1,4 Ga. As análises de probabilidade relativa apresentam picos de 729 Ma., 1,2 Ga, 2,5 Ga. e 3,0 Ga. Estes resultados indicam a contribuição de rochas de idade arqueana do embasamento para os depósitos siliciclásticos aptianos da fase rifte da bacia. Rochas de idade arqueana ocorrem na região do embasamento adjacente na porção sul da faixa costeira da Bacia Alagoas, cerca de 100 km da área investigada nesta pesquisa. Esta ocorrência é composta por ortognaisses tonalíticos a graníticos. No entanto, a configuração tectônica da faixa costeira da bacia durante as fases rifte e pós-rifte foi controlada por altos regionais nos flancos sul e norte desta, que possivelmente impediriam o transporte de sedimentos da região adjacente de Alagoas. Isso sugere que pode haver uma fonte de rochas de idade arqueana, no embasamento adjacente a Oeste da Bacia Sedimentar de Pernambuco ainda não mapeada, provavelmente por ser de dimensão relativamente pequena e não mapeável nas escalas utilizadas até o momento. Dados detalhados de paleocorrentes dos litotipos sedimentares investigados aqui necessitam ser obtidos para corroborar essa proposta de área fonte.

Os zircões encontrados nos depósitos da Formação Suape apresentaram idades máximas de até 2,6 Ga., e idade mínima de 534 Ma. com picos entre 600 e 649 Ma. Estes últimos possivelmente refletem como fonte de tais zircões as rochas ígneas plutônicas de idade neoproterozoica. Outro grupo de zircões apresentou idades entre 2,0 a 2,2 Ga. Estes possivelmente tiveram origem a partir de rochas metamórficas do complexo Belém do São Francisco. Esses zircões ocorrem em depósitos da Formação Suape na região oeste da faixa costeira da Bacia de Pernambuco. Zircões encontrados em depósitos na região nordeste apresentaram idades máximas de até 900 Ma, indicando aporte mais recente.

Nos depósitos da Formação Paraíso, os zircões apresentaram idade máxima de 1,8 Ga. indicando contribuições de rochas mesoproterozoicas provavelmente relacionadas à metassedimentares e metavulcânicas do Cariris Velhos e paleoproterozoicas representada por gnaisses e xistos do Complexo Belém do São Francisco. Também foi encontrado um zircão que apresentou a menor idade registrada de 480 Ma. Este zircão representa a contribuição de rochas do pós-ciclo orogênico Brasileiro, provavelmente se tratando de pegmatitos conhecidos na região. Alguns zircões da Formação Paraíso possuem núcleos com zonação convoluta, caracterizada por concentração irregular de elementos traços (Th, U e Pb). Esse tipo de zonação é muitas vezes associada à ação de fluidos tardi-magmáticos. Foram encontrados zircões com recristalização definida em 1,7 Ga. e desenvolvimento de fases de crescimento nas pirâmides de 1,6 Ga. Também foram encontrados grãos com cristalização magmática de 1,5 Ga., e mais nova de 948 Ma.

Os zircões encontrados nos depósitos da Formação Barreiras, apresentam idades no intervalo de 2,2 Ga. e 500 Ma., com picos maiores em 697 Ma., e menores em 1,9 Ga. Também foram encontrados zircões com intervalos de idades, entre 700-550 Ma., com picos maiores em 700 Ma. Estes últimos estão possivelmente relacionados a granitóides tarditectônicos, formados no início do Cambriano. O gráfico de probabilidade relativa sugere picos no intervalo de até 2,0 Ga. idade que relaciona esses zircões a rochas paleoproterozoicas, xistos e gnaisses paraderivados do Complexo Belém do São Francisco.

Os resultados permitiram comprovar que existe uma variação mineralógica definida entre as formações Cabo, Suape e Paraíso, apesar da pouca representação desta última em superfície. Os resultados indicam que a contribuição de alguns minerais ficou restrita aos depósitos da fase rifte mais importante (Aptiano), devido à intensa ativação tectônica da área do embasamento adjacente. E ainda que, a variação na composição das unidades Suape, que comporta uma segunda fase rifte menos intensa no Albiano Inferior, e Paraíso (Albiano Superior) pós-rifte, mostram os efeitos desses processos tectono-climáticos que controlaram a erosão do embasamento adjacente e o preenchimento sedimentar da Bacia de Pernambuco.

REFERÊNCIAS

- Alheiros, M.M.; Lima Filho, M.A. 1991 Formação Barreiras. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Recife: UFPE/ DEGEO, Estudos Geológicos - série B, Estudos e Pesquisas, 10 p. 77-88.
- Alheiros, M.M.,1987. Caracterização sedimentológica da Formação Cabo-PE. Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, p. 99
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y. Neves, B.B.B; Fuck, R.A.; 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósico de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande (PB). Atas.Campina Grande (PB): SBG. 1977, p.363-391.
- Almeida, C.B., Cruz, L.R., Jardim de Sá, E.F., Vasconcelos, P.M.P., Medeiros, W.E. 2005. Tectônica e relações estratigráficas na Sub-bacia de Pernambuco, NE do Brasil: contribuição ao conhecimento do rifte Atlântico Sul. Boletim de Geociências da Petrobras, **13**(2): p.167-180.
- Alves, E. C., Costa, M. P. A. 1986. Interpretação sísmo-estratigráfica da porção norte do platô de Pernambuco e suas possíveis correlações com a Bacia de Pernambuco-Paraíba. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34. Goiânia, Atas, v. 1, p. 286-297.
- Arai, M.; Uesugui, N.; Rosseti, D.F.; Goés, A. M.; 1988. Considerações sobre a idade do grupo Barreiras no Nordeste do estado do Pará. In: congresso Brasileiro de Geologia, 35.,1988. Belém. Anais. Belém: SBG. V.2, p. 738-752.
- Bramlete, M.N. 1992. The Stability of minerals in sandstones. Journal of Sedimentary Petrology, Lawrence, New York, V.13, p. 41-98
- Barbosa, J.A. & Lima Filho, M.F. 2006. Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços. Boletim de Geociências da Petrobras. **14**(2): p. 287-306.
- Barbosa, J.A., Lima Filho, M., Neto, J.C.J., Neumann, V.H., Ribeiro, F.S., Batista, A.P. 2009. Depósitos Albianos da Faixa Costeira da Bacia de Pernambuco: Proposição de uma nova unidade estratigráfica a Formação Suape. V Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás PDPETRO, ABPG, Fortaleza.
- Barbosa J. A.; Maia, M. F. Lima Filho, M. Magalhães, J. R. G.; Correia, O. J. 2014. Seismic Stratigraphy of the Onshore Portion of Pernambuco Basin:

Evidence of Break-Up during Middle Albian for the South Atlantic Rift in Northeast Brazil. *AAPG Boletim de Resumos em CD-Rom*

Brito Neves, B. B. 1975. Regionalização geotectônica do pré-cambriano nordestino. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, p. 198

Brito Neves B.B., Albuquerque J.P.T., Coutinho J.M.V, Bezera F.H.R. 2009. Novos dados geológicos e geofísicos para a caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). *Geologia USP, São Paulo*, 9 (2): p. 63-87.

Buarque, B. V., Barbosa, J. A., Magalhães, J. R. G., Oliveira, J. T. C. Post-rift volcanic structures of the Pernambuco Plateau, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 70 (2016) p. 251-267.

Carvalho, M.J. 2005. Evolução tectônica do domínio Maranco-Poço Redondo : registro das orogêneses Cariris Velhos e Brasiliana na Faixa Sergipana, NE do Brasil. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geociências. UNICAMP, p. 169.

Chamley, H., 1989. *Clay sedimentology*, Springer, Berlin, p.1-623.

Campelo, F.C.A. 2004. Formação Cabo, Afloramento da Praia de Guadalupe. Caracterização de um Potencial Reservatório para Hidrocarbonetos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, UFPE, p.150.

Correia Filho, O. J. ; Santana, F. R.; Ribeiro, B.; Henrique, R.; Barbosa, J.A; Henrique, V. 2015. Análise De Estruturas Rúpteis Na Formação Suape, Albiano Da Bacia De Pernambuco, E Implicações Sobre A Idade Do Rifte Na Margem Oriental Do Nordeste Do Brasil. In: XXVI Simpósio de Geologia do Nordeste, 2015, Natal-RN. XXVI Simpósio de Geologia do Nordeste.

Cruz, L.R. 2002. Mapeamento geológico da região de Cabo (PE), Sub-Bacia de Pernambuco. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Relatório de Graduação, p.74.

Dantas, E.L.; Van Schmus, W.R.; Hackspacher, P.C.; Fetter, A.H.; Brito Neves, B.B.; Cordani, U.G.; Nutman, A.P.; Williams, I.S., 2004. The 3.4-3.5 Ga São José do Campeste massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Research*, 130: p.113-137.

Dias, J. A. 2004. Análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos, P.58-61.

Feo-Codecido, G. 1956. Heavy mineral techniques and their application to Venezuela stratigraphy. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 40 (5): p. 985-1000.

Hoskin, P. W. O. & U. Schaltegger, 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. In: J. M.

Hubert J.F. 1962. A zircon–tourmaline–rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. *J. Sed. Petrol.* 32: p.440-450.

Jardim de Sá, E.F., Silva, F.C., Lima Filho, M. F., Antunes, A. F., Cruz, L. R., Almeida, C.B. 2008. As relações de borda da seqüência rifte na Sub-bacia de Pernambuco, NE do Brasil. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2, Rio de Janeiro. Boletim de Resumos, em CD-Rom.

Johnsson M.J., Stallard R.F., Lundberg N. 1991. Controls on the composition of fluvial sands from a tropical weathering environment: Sands of the Orinoco drainage basin, Venezuela and Colombia. *Bull. Geol. Soc. Am.*,103: p.1622-1647

Johnsson M.J. 1993. The system controlling the composition of clastic sediments. In: Johnsson M.J. & Basu A. (eds.) *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. *Geol. Soc. Am., Spec. Pap.*, 284:p. 1-19.

Lima Filho, M.F. 1998. The main tectonic-magmatic events in Pernambuco Basin (NE Brazil). In: Third annual Conference of IGCP Project 381, South Atlantic Mesozoic Correlations, abstract. Comodoro Rivadavia-Ushuaia, p.18.

Maia, M.F.B., Barbosa, J.A., Mort, H.P., Santana, F.R., Lima Filho, M., Neumann, V.H., Moraes, M.A. 2012. Caracterização da Formação Suape na faixa costeira da Bacia de Pernambuco. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 6, Florianópolis. Boletim de Resumos em CDRom, p. 1-8.

Mange, M. A. & H. F. W. Maurer, 1992. *Heavy mineral in colour*. Chapman & Hall, London, p. 1-147.

Maia, M.F.M. 2012. Revisão da estratigrafia do intervalo aptiano-albiano da bacia de Pernambuco, nordeste do Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco p 68.

Morton A.C. & Hallsworth C.R. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sed. Geol.*, 124:p. 3-29.

Morton, A. C. 1985. Stability of detrital heavy minerals in Tertiary sandstones from the North Sea Basin. *Clay Minerals*, 19: p. 287- 308.

Morton A.C. & Yaxley G. 2007. Detrital apatite geochemistry and its application in provenance studies. In: Critelli S.& Johnson M.J. Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry. Geol. Soc. America, Spec. Pap., 420 p.319-344

Morton A.C. 1985. Heavy mineral in provenance studies. In: Zuffa G.G. (ed.) Provenance of Arenites. Dordrecht, Germany, D. Reidel Pub. Co. p. 249-278.

Morton ,A.C. & C. Hallsworth, 1994. Identifying provenience-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. Sedimentary Geology 90p.241-256.

Morton, B.J. 2000. A Global review of non-living resources on the extended continental shelf. Revista Brasileira de Geofísica, V18(3):p. 281–306.

Nascimento, M. S & Góes, A.M. Distribuição Estratigráfica E Proveniência de Minerais Pesados das Formações Ipixuna e Barreiras, Região do Rio Capim, Sul da Sub-bacia de Cametá. 2005. Revista brasileira de geociências. V35(1): p.49-58..

Nascimento, M. A. L., 2003. Geologia, Geocronologia, Geoquímica e Petrogênese das Rochas Ígneas Cretácicas da Província Magmática do Cabo e Suas Relações com as Unidades Sedimentares da Bacia de Pernambuco (NE do Brasil). Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – UFRN (Tese de Doutorado), p.233.

Nóbrega, V.A. 1995. Características petrológicas e evolução diagenética da Formação Cabo no Graben do Cupe - Bacia do Cabo-PE. Nordeste do Brasil. Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, p.166.

Nickel, E. 1973. Experimental dissolution of light and heavy minerals in comparison with weathering and intrastal solution. Contributions sedimentology, 1 p. 1-68.

Sales, O.A; Santos, E.J; Lima, E.S; Santos, L.C.M.L; Neves,B.B.B. 2011. Evolução Petrogenética e Tectônica do Evento Cariris Velhos na Região de Afogados da Ingazeira (PE), Terreno Alto Pajeú, Província Borborema. Revista do Instituto de Geociências – USP. São Paulo, v. 11, n. 2, p. 101-121.

Pereira, R. M. Ávila, C. A. Lima, P. R. A. S. 2005. Minerais em Grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação. São Paulo: Oficina de Textos, p. 112

Pettijohn, F.J. 1957. Sedimentary rocks. New York: Harper & Brothers, p. 718.

Rand, H.M. & Mabesoone, J.M. 1982. Northeastern Brazil and the final separation of South America and Africa. *Paleogeogr, Paleoclimat., Paleoecol.*, V 38, p.163-183.

Rossetti, D. F., 2001. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences*, p.14(1)

Rocha, D. E. G. A. 1990. Programa de levantamento geológico básico do Brasil: carta metalogenética/previsional. Escala 1/100.000 (folha Sc. 25-V-A-II-Vitória). Estado de Pernambuco. Brasília DNPM/CPRM, p.112

Santana, F.R. 2016. Análise dos depósitos da sequências vulcanoclástica albiana da faixa costeira da bacia de Pernambuco. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 93 p.

Santana, F.R. 2014. Mapeamento Geológico e Levantamento de Dados Estratigráficos na Faixa Costeira da Bacia de Pernambuco: Região entre Barra de Sirinhaém e Tamandaré. Universidade Federal de Pernambuco, p. 96.

Santos, E. J., Ferreira, C. A., Silva JR., J. M. 2002. Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba. Paraíba: CPRM, 2002. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, p.142.

Santos, E.J; Schmus, W.R.V; Kozuch, M.; Brito, B.B. 2010. The Cariris Velhos tectonic event in Northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 29 p. 61–76.

Scoates, J.S.; Chamberlain, K.R., 1995. Baddeleyite (ZrO₂) and zircon (ZrSiO₄) from anorthositic rocks of the Laramie anorthosite complex, Wyoming: petrologic consequences and U-Pb ages. *Am. Mineral.* 80, 1317-1327.

Vavra, G.,1990. On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 106, 90-99.

Van Schmus b , Marianne Kozuch b , Benjamim Bley de Brito Neves Sá, C.P.M., 2008. A microscopia eletrônica (SEM), a Microanálises por raios X e a análise de padrões de difração de elétrons retrodifundidos (EBSD): método e potencial no estudo de minerais. p. 7, 31-32.

Silva, M.A.M 2013. Estratigrafia e sedimentologia das formações cabo e Suape localizadas nos municípios do cabo e Ipojuca, na bacia de Pernambuco: implicações na arquitetura deposicional e análises faciológicas. Relatório final de monografia de graduação: Universidade Federal de Pernambuco.

Sial, A.N., 1976. The magmatic province of Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco: A Brazilian Record of the ascension plume activity, *In: Latin American Congress of Geology*, 3, Acapulco, abstract. p1.

Torquato, R.J.; Kawashita, K. 1996. Metodologias de datação sistema U, Th-Pb. *Revista de geologia*, São Paulo, V.9, p. 153-18.

Van Schmus, W. R., Oliveira, E. O., Silva Filho, A. F., Toteu, S. F., Penaye J., Guimarães, I.G. 2008. Proterozoic links between the Borborema Province, NE Brazil, and the Central African Fold Belt. *Geological Society, London, Special Publications*; v. 294; p. 69-99.

Watson, E.B., Liang, Y., 1995. A single model for sector zoning in slowly grown crystals: implications for growth rate and lattice diffusion with emphasis on accessory minerals in crustal rocks. *American mineralogist*. 80. 1179-1187

Watson, E.B & Harrison, T.M., 1983. Zircon saturation revisited: Temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth planet Sci Lett* 64, 295-304.

ANEXOS

Anexo 01. Abundância dos minerais pesados encontrados nas amostras de arenitos das Formações Cabo, Suape e Paraíso. Dados em % (estimativa visual). N.o". Não observado: (Mgt) Magnetita, (Ilm) Ilmenita, (Zn) Zircão, (Rt) , (Mus) Muscovita, (Gr) Granada, (Tur) Turmalina, Rutilo, (Bt) Biotita (Mon) Monazita, (Esp) Espodumênio, (Ky) Cianita.....144

Anexo 02. Abundância dos minerais pesados encontrados nas amostras de siltitos e argilitos, da Formação Suape. Dados em % (estimativa visual). N.o". Não observado. Abreviaturas dos minerais:(Mgt) Magnetita, (Ilm) Ilmenita, (Zn) Zircão, (Rt) Rutilo, (Tur) Turmalina e (Gr) Granada.....146

Anexo 03. Assembleias (origem) e características físicas, químicas e provável rocha fonte, dos minerais pesados das amostras das Formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.....147

Anexo 04. Tabela de datações dos zircões detríticos das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.....149

Anexo 01. Abundância dos minerais pesados encontrados nas amostras de arenitos das Formações Cabo, Suape e Paraíso. Dados em % (estimativa visual). N.o". Não observado: (Mgt) Magnetita, (Ilm) Ilmenita, (Zn) Zircão, (Rt) , (Mus) Muscovita, (Gr) Granada, (Tur) Turmalina, Rutilo, (Bt) Biotita (Mon) Monazita, (Esp) Espodumênio, (Ky) Cianita.

Amostras	Coordenadas	Mgt	Ilm	Zrn	Mus	Gr	Tur	Rt	Bt	Mon	Esp	Ky
Fm. Cabo PPE-01	276909 9086597	45%	25%	5%	20%	5%	n.o	n.o	n.o	5%	n.o	n.o
Fm. Cabo PPE-02	0277041 9086584	50%	20%	5%	15%	n.o	n.o	n.o	5%	10%	n.o	n.o
Fm. Cabo PPE-03	0277977 9077436	45%	15%	5%	22%	5%	n.o	n.o	5%	5%	n.o	n.o
Fm. Cabo PPE-04	0268111 9051356	60%	20%	5%	10%	n.o	n.o	n.o	n.o	5%	n.o	n.o
Fm. Cabo PPE-05	0268604 9050709	55%	20%	10%	13%	2%	n.o	n.o	n.o	3%	n.o	n.o
Fm. Cabo PPE-06	268321 9053876	40%	15%	10%	25%	n.o	n.o	n.o	10%	7%	n.o	n.o
Fm. Cabo PPE-07	0271146 9055292	35%	25%	10%	20%	5%	n.o	n.o	5%		n.o	n.o
Fm Suape PPE-08	0267440 9031320	40%	35%	15%	n.o	n.o	10%	5%	n.o		n.o	n.o
Fm.Suape PPE-09	0267109 9031156	35%	30%	22%	n.o	n.o	13%	n.o	n.o		n.o	n.o
Fm. Suape PPE-10	0282778 9094589	45%	35%	15%	n.o	n.o	5%	n.o	n.o		n.o	n.o
Fm. Suape PPE-11	0277086 9037484	30%	32%	20%	n.o	n.o	10%	n.o	n.o		n.o	n.o
Fm.	0271816	35%	40%	10%	n.o	n.o	15%	10%	n.o		n.o	n.o

Anexo 02. Abundância dos minerais pesados encontrados nas amostras de siltitos e argilitos, da Formação Suape. Dados em % (estimativa visual). N.o”. Não observado. Abreviaturas dos minerais:(Mgt) Magnetita, (Ilm) Ilmenita, (Zn) Zircão, (Rt) Rutilo, (Tur) Turmalina e (Gr) Granada.

Amostras	Amostras	Mgt	Ilm	Zrn	Rt	Tur
Fm.Suape PPE-8A	Silito	10	34	22	n.o	34
Fm.Suape PPE-8B	Argilito	12	63	19	2	4
Fm.Suape PPE-09	Silito	13	26	47	3	11
Fm. Suape PPE-10	Argilito	14	74	12	n.o	n.o
Fm. Suape PPE-17	Silito	30	30	40	n.o	n.o
Fm. Suape PPE-18	Silito	23	45	32	n.o	n.o

Anexo 03. Assembleias (origem) e características físicas, químicas e provável rocha fonte, dos minerais pesados das amostras das Formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras.

Fontes	Minerais	Fm. Cabo	Fm. Suape	Fm. Paraíso	Fm. Barreiras	Observações MEV-EDS	Fontes
Ígnea	Magnetita	Octaedral ou sem forma definida	Octaedral ou sem forma definida	Octaedral ou sem forma definida	Octaedral ou sem forma definida	N.o	Granitos do neoproterozóico
	Ilmenita	Grãos tabulares.	Grão tabulares	Grãos tabulares.	Grãos tabulares.	N.o	Pegmatitos do neoproterozóico
	Zircão	Prismático bipiramidais de coloração rosa, creme ou marrom; prismas bipirâmides de coloração marrom	Prismático bipiramidais de coloração rosa ou transparentes.	Prismático com terminações subarredondada grãos translúcidos de coloração rosa.	Prismático bipiramidais de coloração rosa ou transparentes.	Apresentando desgaste e dissolução; alguns com presença de Th, U e Hf	Granitos do neoproterozóico
	Turmalina	N.O	Prismático de coloração marrom-esverdeado	Prismático e prisma marrom esverdeado.	Prismático e prisma marrom esverdeado.	Apresentando desgaste físico com sulcos e presença de Fe	Granitos e Pegmatitos do neoproterozóico
	Monazita	Grãos sem forma definida alguns em prisma de coloração amarelo-esverdeado.	N.o	N.o	N.o	Presença de fraturas subconchoidais.	Granitos do neoproterozóico
	Rutilo	.N.o	Prismático; com terminações arredondadas; em grãos achatados com terminações angulosas	Prismático; com terminações arredondadas; em grãos achatados com terminações angulosas	Prismático; com terminações arredondadas; em grãos achatados com terminações angulosas	Presença de estrias. Presença de Fe e U	Pegmatitos do neoproterozóico
	Esposumênio			Prismático ou em prisma de coloração branco.		Clivagem a 90° e fortemente estriado	Pegmatitos do Neoproterozóico

Metamórfica	Muscovita	Grãos tabulares de coloração cinza ou prateado	N.o	N.o		N.O	Gnaisses ou Xistos do paleoproterozóico
	Granada	Forma arredondada de coloração vermelho intenso ou em dodecaedro de coloração alaranjada.	Forma arredondada de coloração vermelho intenso, ou em dodecaedro de coloração alaranjada.	Forma arredondada de coloração vermelho intenso, ou em dodecaedro de coloração alaranjada	Forma arredondada de coloração vermelho intenso, ou em dodecaedro de coloração alaranjada	Algumas com presença de Fe.	Xisto do paleoproterozoico
	Biotita	Grãos achatados ou arredondados de coloração amarelo ouro.	N.o	N.o		N.o	Xisto do paleoproterozoico
	Cianita	N.o	N.o	Grãos primáticos achatados transparentes.		N.o	Xisto e gnaisses do paleoproterozoico

Anexo 04. Tabela com as idades registradas dos zircões detríticos das formações Cabo, Suape, Paraíso e Barreiras

Amostras	Final207_235	Final207_235_Int2SE	Final206_238	Final206_238_Int2SE	FinalAge207_206	FinalAge207_206_Int2SE
G1 PPE1-c	0.726	0.014	0.09124	0.00059	603	32
G1 PPE 1-b	0.724	0.016	0.09273	0.00057	559	34
G2 PPE1 -c	0.771	0.013	0.09382	0.00072	633	26
G2 PPE 1-b	0.6908	0.0085	0.08028	0.00048	725	19
G3 PPE 1-c	0.998	0.017	0.0794	0.0016	1523	37
G3 PPE 1-b	0.759	0.0099	0.09477	0.00046	604	20
G4 PPE 1-b	1.141	0.014	0.0772	0.001	1795	22
G5 PPE 1-c	0.825	0.031	0.0898	0.0031	1058	43
G5 PPE 1-b	0.717	0.024	0.076	0.0021	1069	28
G6 PPE 1-c	0.834	0.015	0.09604	0.00079	775	30
G6 PPE 1-b	0.6462	0.0097	0.06474	0.00077	1104	26
G7 PPE 1-c	0.851	0.021	0.10227	0.00067	721	37
G7 PPE 1-b	0.816	0.015	0.10024	0.00061	675	26
G8 PPE 1-c	0.802	0.012	0.09358	0.00049	738	25
G9 PPE 1-c	1.926	0.035	0.0791	0.0021	2844	35
G10 PPE 1-c	0.842	0.014	0.09069	0.00088	968	33
G11 PPE 1-c	0.774	0.015	0.0686	0.0013	1446	29
G1 PPE 21-c	0.958	0.011	0.1029	0.0019	1087	28
G12PPECb1-b	0.811	0.012	0.09132	0.00069	868	28
G13Cb1-c	0.914	0.019	0.0561	0.001	1998	53
G13Cb1-b	0.949	0.023	0.0547	0.0007	2078	34
G14Cb1-c	0.75	0.028	0.0906	0.0024	761	40
G15Cb1-c	0.842	0.021	0.10315	0.00097	638	34
G16Cb1-c	1.063	0.028	0.09577	0.00084	1289	33
G17Cb1-c	0.3656	0.0051	0.02251	0.00037	2293	14

G19Cb1-b	0.8385	0.0099	0.08061	0.00057	1136	18
G20Cb1-c	1.106	0.014	0.0773	0.002	1886	67
G22Cb1-c	0.8	0.011	0.09293	0.00064	786	24
G23Cb1-c	1.324	0.018	0.11293	0.0008	1348	22
G24Cb1-c	1.107	0.025	0.09723	0.00075	1296	30
G25Cb1-c	1.054	0.024	0.10181	0.00085	1087	31
G1Cb3-c	1.02	0.039	0.1147	0.0014	743	51
G2Cb3-c	1.002	0.022	0.09947	0.00093	1404	42
G3Cb3-b	0.6777	0.005	0.0934	0.00084	743	13
G4Cb3-c	1.127	0.05	0.0997	0.0017	1138	53
G5Cb3-c	1.52	0.023	0.0558	0.0011	3091	17
G1Cb3-b	1.192	0.078	0.117	0.0014	718	74
G5Cb3-b	5.197	0.068	0.3145	0.0028	1996	15
G6Cb3-c	0.769	0.0079	0.0366	0.0012	2751	56
G7Cb3-c	1.504	0.02	0.08096	0.00093	2194	17
G9Cb3-c	0.757	0.017	0.08083	0.00085	915	42
G10Cb3-c	5.048	0.08	0.226	0.0031	2504	11
G11Cb3-c	5.8	0.11	0.2905	0.0037	2318	20
G12Cb3-c	0.718	0.02	0.0925	0.0011	578	45
G13Cb3-c	0.988	0.018	0.1145	0.0011	761	32
G14Cb3-c	5.47	0.12	0.3341	0.0034	2005	22
G15Cb3-c	0.741	0.032	0.0873	0.0012	642	69
G16Cb3-c	3.177	0.044	0.2035	0.0026	1900	20
G1PPE8A- c	5.59	0.37	0.2874	0.0023	1992	29
G1PPE8A-b	6.41	0.17	0.366	0.0023	2096	18
G2PPE8A- b	4.52	0.16	0.2658	0.0022	1949	26
G2PPE8A - c	1.11	0.11	0.1057	0.0015	570	100

G3PPE8A- b	2.562	0.033	0.1794	0.0011	1728	13
G3PPE8A- c	0.786	0.0096	0.08144	0.00049	963	19
G4PPE8A-b	1.962	0.02	0.06177	0.00043	3099	12
G4PPE8A-c	0.854	0.025	0.1059	0.0011	568	47
G5PPE8A-c	2.182	0.026	0.13513	0.00078	1984	13
G5PPE8A- B	0.863	0.021	0.0958	0.0013	898	40
G6PPE8A- B	0.856	0.019	0.1081	0.001	600	34
G6PPE8-C	3.95	0.27	0.2662	0.0031	1543	34
G7PPE8A-C	4.62	0.22	0.2889	0.0034	1731	35
G8PPE8A-C	4.385	0.077	0.2656	0.0032	2000	14
G8PPE8AB	9.73	0.22	0.4467	0.0041	2533	13
G9 PPE8A-C	0.834	0.037	0.0966	0.001	720	74
G9PPE8AB	0.835	0.031	0.1033	0.00083	603	57
G10PPE8A-B	0.801	0.028	0.0961	0.00081	635	58
G10PPE8A-C	0.782	0.026	0.09756	0.00076	587	48
G11PPE8A-C	0.88	0.021	0.10856	0.00079	632	36
G11PPE8A-B	0.876	0.018	0.0993	0.00071	853	29
G12PPE8A-C	1.062	0.076	0.1004	0.0011	854	72
G12PPE8A-B	3.26	0.06	0.2558	0.0019	1554	18
G13PPE8A-C	0.781	0.02	0.09881	0.00075	627	43
G13PPE8A-B	5.52	0.14	0.3423	0.0031	2044	19
G14PPE8A-C	0.781	0.017	0.09989	0.00056	581	34
G14PPE8A- B	0.848	0.021	0.10648	0.00078	636	36
G15PPE8A-C	0.83	0.021	0.10754	0.00078	584	37
G15PPE8A-B	0.838	0.028	0.10696	0.00089	615	54
G16PPE8A-C	0.781	0.037	0.0988	0.0012	454	70
G16PPE8A-B	0.854	0.039	0.1002	0.0011	553	61

G17PPE8A-C	1.255	0.053	0.1136	0.0011	1345	48
G17PPE8A-B	0.876	0.043	0.0989	0.001	590	67
G18PPE8A-C	0.766	0.033	0.09478	0.00087	503	64
G18PPE8A-B	4.89	0.39	0.3018	0.0032	1599	36
G19PPE8A-B	0.846	0.043	0.0974	0.0011	587	69
G19PPE8A-C	3.118	0.049	0.2456	0.0016	1560	16
G5PPE8-C	9.76	0.15	0.4487	0.0031	2609	11
G5PPE8-B	9.64	0.17	0.4433	0.0026	2556	12
G6PPE8-C	3.2	0.18	0.2377	0.0041	1545	41
G6PPE8-B	0.717	0.028	0.0956	0.00089	519	62
G7PPE8-C	0.714	0.022	0.09442	0.00075	549	48
G7PPE8-B	3.571	0.075	0.2834	0.0019	1609	18
G8PPE8-B	3.632	0.095	0.2828	0.0018	1607	19
G8PPE8-C	3.325	0.061	0.2316	0.002	1869	16
G1PPE8B-C	4.09	0.11	0.2615	0.0058	2010	18
G1PPE8B-B	3.7	0.18	0.2769	0.0029	1582	36
G2PPE8B-C	4.44	0.34	0.2757	0.0034	1563	44
G3PPE8B-B	0.74	0.03	0.095	0.001	505	62
G4PPE8B-B	0.718	0.014	0.09679	0.00081	589	33
G5PPE8B-C	1.45	0.11	0.1167	0.0018	1101	78
G5PPE8B-B	0.858	0.063	0.0952	0.0011	546	68
G6PPE8B-C	4.537	0.089	0.2729	0.0028	2122	17
G7PPE8B-C	3.532	0.043	0.2199	0.0018	2083	13
G8PPE8B-B	4.178	0.065	0.2584	0.0019	2065	14
G1PPE9-C	2.83	0.14	0.1983	0.0022	1497	41
G1PPE9-B	6.26	0.14	0.3322	0.0061	2235	23
G2PPE 9-C	4.78	0.35	0.2739	0.0029	1668	48
G2PPE9-B	0.791	0.02	0.09502	0.0007	732	38

G3PPE9-B	0.852	0.019	0.1046	0.0011	648	41
G3PPE 9-C	3.509	0.078	0.2762	0.0021	1583	18
G4PPE 9-C	5.057	0.086	0.3179	0.0021	2017	13
G1PPE11- B	5.016	0.063	0.3038	0.0021	1990	11
G1PPE11- C	5.149	0.075	0.3117	0.002	1996	12
G2PPE11- B	2.4	0.037	0.1592	0.0018	1790	14
G3PPE11- C	3.97	0.1	0.2973	0.002	1587	25
G4PPE11-B	4.114	0.086	0.3024	0.0018	1613	19
G5PPE11- C	4.87	0.29	0.3191	0.0035	1609	24
G5PPE11- B	0.817	0.023	0.10104	0.00074	602	42
G6PPE11- B	0.778	0.014	0.09885	0.00074	582	29
G6PPE 11-C	7.03	0.13	0.4162	0.0017	2036	12
G7PPE- 11B	0.819	0.04	0.0955	0.00091	549	73
G7PPE-11C	0.791	0.037	0.09624	0.00095	568	71
G8PPE- 11C	0.931	0.016	0.10673	0.00059	730	27
G8PPE- 11B	0.878	0.017	0.10678	0.00066	643	29
G9PPE 11C	0.806	0.012	0.09734	0.00051	662	23
G9PPE -11 B	0.872	0.017	0.10573	0.0006	647	29
G10PPE- 11 C	4.84	0.41	0.2736	0.0039	1563	46
G10PPE- 11 B	0.739	0.026	0.0924	0.0015	569	59
G11PPE- 11C	0.757	0.018	0.09237	0.00064	655	38
G12PPE-11C	7.42	0.12	0.3526	0.0026	2439	10
G12PPE- 11B	9.85	0.16	0.4382	0.0028	2515	12
G13-PPE11B	3.852	0.098	0.2936	0.0021	1581	23
G13PPE- 11C	4.51	0.1	0.2839	0.0047	1917	12
G14PPE- 11B	5.452	0.056	0.3306	0.0021	1994	11
G15PPE- 11 B	0.801	0.027	0.1024	0.00074	550	56
G15PPE- 11 C	3.018	0.093	0.2331	0.0023	1501	26

G16PPE- 11B	0.798	0.023	0.09935	0.00072	582	44
G16PPE-11C	0.844	0.017	0.10522	0.00072	604	31
G17PPE-11 C	0.854	0.027	0.11069	0.0009	594	57
G18PPE - 11B	3.009	0.084	0.24	0.0041	1505	24
G18PPE-11C	3.62	0.14	0.2708	0.0026	1585	29
G1PPE-13 B	0.75	0.014	0.09351	0.0008	625	30
G1PPE -13 C	0.853	0.028	0.1009	0.001	633	41
G2PPE- 13B	0.823	0.012	0.10354	0.00098	602	22
G2PPE- 13C	0.842	0.011	0.10155	0.00073	671	22
G3PPE -13C	0.849	0.011	0.10399	0.00077	658	20
G3PPE- 13B	0.823	0.031	0.0998	0.00089	566	56
G4PPE- 13C	0.806	0.026	0.10102	0.00088	560	46
G4PPE- 13B	0.807	0.031	0.09979	0.00093	534	63
G5PPE-13B	0.869	0.013	0.10045	0.00072	770	25
G5PPE- 13C	0.829	0.017	0.10215	0.00096	639	32
G6PPE-13C	0.796	0.019	0.09179	0.00075	769	36
G6PPE -13B	0.814	0.018	0.10303	0.00081	611	32
G1PPE -14C	0.776	0.018	0.0893	0.0012	771	33
G1PPE -14B	1.004	0.053	0.1077	0.0013	689	72
G2PPE -14 B	1.25	0.12	0.1065	0.0013	855	73
G2PPE -14 C	0.851	0.026	0.10104	0.00079	628	48
G3PPE -14 B	0.82	0.024	0.10218	0.00099	600	47
G3PPE -14 C	0.753	0.012	0.09676	0.00093	599	29
G4PPE -14 C	0.763	0.014	0.0955	0.00064	620	28
G4PPE -14 B	0.7572	0.0097	0.09321	0.00066	665	22
G1PPE18-C	1.012	0.033	0.09596	0.00066	1117	52
G2PPE18-C	0.885	0.012	0.08252	0.00046	1157	27

G3S PPE 18-C	0.726	0.014	0.08827	0.00048	641	31
G4S PPE 18-C	0.859	0.026	0.08685	0.00065	1009	45
G6S PPE 18-C	0.773	0.014	0.09223	0.00047	660	31
G7S PPE 18-C	3.457	0.059	0.2552	0.0012	1608	14
G8S PPE 18-C	1.014	0.016	0.07941	0.00085	1877	30
G2 PPE 20-C	3.64	0.072	0.2669	0.0017	1725	19
G3 PPE 20-C	3.249	0.063	0.2423	0.0017	1629	18
G3 PPE 20-B	3.123	0.063	0.2393	0.0015	1620	19
G4 PPE 20-C	4.262	0.054	0.2643	0.0017	1968	13
G4 PPE 20-B	4.057	0.05	0.2565	0.0016	1969	11
G5 PPE 20-C	0.687	0.029	0.08364	0.00079	574	64
G6 PPE 20-C	3.48	0.14	0.2503	0.002	1568	32
G7 PPE 20-C	0.69	0.021	0.08608	0.00068	547	48
G7 PPE 20-B	0.72	0.028	0.08638	0.00079	577	63
G8 PPE 20-C	2.68	0.068	0.2202	0.0013	1484	23
G8 PPE 20-B	3.575	0.071	0.276	0.0017	1594	18
G8 PPE 20-C_1	1.526	0.088	0.1377	0.0047	1133	43
G9 PPE 20-C	0.943	0.013	0.1002	0.0012	1129	33
G10 PPE 20-C	5.225	0.073	0.328	0.0018	1985	11
G11 PPE 20-C	5.267	0.08	0.3337	0.0018	1947	11
G11 PPE 20-B	5.097	0.058	0.3239	0.0018	1948.9	9
G12 PPE 20-C	4.707	0.057	0.3029	0.0016	1939	11
G12 PPE 20-B	1.502	0.025	0.1329	0.0014	1330	17
G12 PPE 20-C_1	0.839	0.016	0.10118	0.0006	678	28
G12 PPE 20-C_2	0.903	0.019	0.1108	0.00078	639	32
G13 PPE 20-C	2.265	0.09	0.1728	0.0036	1541	35
G14 PPE 20-C	1.504	0.044	0.1613	0.0012	948	35
G14 PPE 20-B	1.539	0.039	0.1623	0.0011	956	32

G15 PPE 20-C	0.839	0.061	0.0951	0.0013	480	100
G15PPPE 20-B	7.83	0.43	0.2029	0.0067	3236	76
G12 PPE 20-B_1	0.782	0.011	0.08891	0.00051	796	21
G16 PPE 20-C	3.81	0.17	0.2675	0.0024	1585	34
G16 PPE 20-B	4.2	0.21	0.2927	0.0025	1609	32
G17 PPE 20-C	4.78	0.09	0.3049	0.0018	1938	16
G10S PPE 21-C	0.77	0.023	0.09551	0.00094	582	47
G12S PPE 21-C	1.054	0.022	0.0623	0.0013	2020	66
G12S PPE 21-B	0.945	0.011	0.07383	0.00039	1554	19
G13S PPE 21-C	0.8	0.013	0.0713	0.0011	1309	29
G14S PPE 21-C	0.7481	0.0063	0.0988	0.0013	868	15
G15S PPE 21-C	0.797	0.015	0.09724	0.00064	647	28
G18S PPE 21-C	0.74	0.015	0.09176	0.00053	605	31
G18S PPE 21-B	0.769	0.015	0.09308	0.00059	656	32
G19S PPE 21-C	0.805	0.015	0.09989	0.00064	630	27
G20S PPE 21-C	0.798	0.009	0.09163	0.00058	750	19
G8S PPE 22-C	0.955	0.026	0.0957	0.0013	957	68
G9S PPE 22-C	0.934	0.01	0.1107	0.00061	702	17
G10S PPE 22-C	0.815	0.017	0.09763	0.00062	671	32
G11S PPE 22-C	1.243	0.019	0.07825	0.00077	1925	37
G12S PPE 22-C	0.906	0.025	0.1066	0.0014	670	43
G15S PPE 22-C	0.541	0.014	0.0596	0.00097	883	39
G16S PPE 22-C	1.586	0.038	0.0977	0.0007	1957	47

