

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

LARA DE ARRUDA QUINAMO

ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS AO LONGO DO SISTEMA
ESTUARINO GOIANA/MEGAÓ – PE: DISTRIBUIÇÃO E
PROVENIÊNCIA

RECIFE
2017

LARA DE ARRUDA QUINAMO

ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS AO LONGO DO SISTEMA
ESTUARINO GOIANA/MEGAÓ – PE: DISTRIBUIÇÃO E
PROVENIÊNCIA

Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Geociências.

Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Lucia Maria Mafra Valença - UFPE

Coorientador: Profº Drº. João Aduino de Souza Neto - UFPE

RECIFE
2017

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

Q7e Quinamo, Lara de Arruda.
 Estudo dos minerais pesados ao longo do sistema estuarino
 Goiana/Megaó – PE: distribuição e proveniência / Lara de Arruda Quinamo
 - 2017.
 129 folhas, Il. e Tabs

 Orientador(a): Profa. Dra. Lucia Maria Mafra Valença.
 Coorientador(a): Prof^o Dr^o. 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. Proveniência sedimentar. 3. Minerais pesados.
 4. Rio Goiana. I. Valença, Lucia Maria Mafra. (Orientadora). II. Souza Neto,
 João Aduino de. (Coorientador). III. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2017- 402

LARA DE ARRUDA QUINAMO

**ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS AO LONGO DO SISTEMA ESTUARINO
GOIANA/MEGAÓ - PE: DISTRIBUIÇÃO E PROVENIÊNCIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de doutora em Geociências.

Aprovada em: 20/10/2017

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Helenice Vital (Examinadora Externa)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

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

AGRADECIMENTOS

Uma jornada tão desejada de quatro anos. Para a construção desta etapa em minha vida contei com o apoio de inúmeras pessoas, que diretamente ou não foram essenciais para a conclusão. Gostaria de agradecer primeiramente a minha orientadora Profa. Dra. Lucia Maria Mafra Valença por toda a sua confiança, dedicação, apoio na execução deste trabalho e pela sua amizade ao longo desses anos. Ao meu co-orientador João Aduino de Souza Neto, pela sua confiança, apoio e incentivo. Ao programa de Pós-Graduação em Geociências da UFPE, por todo o suporte dado. Agradeço ao antigo secretário da pós-graduação, Igor e também ao atual Krishnamurt por todo o suporte. Ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos. Ao Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas (LDN) da Universidade Federal de Pernambuco. Ao laboratório de Raios-x do Hospital Veterinário Escola do Departamento de Medicina Veterinária da UFRPE (HOVET/DMV/UFRPE). Agradeço ao professor Gorki Mariano pela ajuda para descrever as amostras de rochas. Ao professor Madruga por me apresentar a Geologia. Ao Professor Valdir pelo apoio nas etapas deste trabalho (fracionamento dos fragmentos de rocha) realizadas no LGGM (Laboratório de Geologia Marinha). A Adriana Garlipp e a Gilberto por me ajudarem na coleta dos testemunhos. Ao meu marido Philipi, por todo o suporte dado, não só suporte afetivo, como também por todas as idas ao campo comigo, muito obrigada. Aos meus pais Tarcísio Quinamo e Ana Arruda por todo incentivo ao longo da minha vida. Aos meus irmãos Hugo (pela ajuda com os gráficos) e Dandara. A minha amiga Patrícia França, muito obrigada por todo o seu suporte ao longo da construção deste trabalho. Aos amigos da Pós-Graduação pela amizade e apoio, em especial a Marcelo Silva e Oswaldo Correia. A todos aqueles que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho, muito obrigada.

RESUMO

O estudo dos minerais pesados constitui-se de grande importância científica, pois ocorrem como minerais acessórios em sedimentos e rochas, são derivados do intemperismo e erosão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Permitindo assim, a associação desses minerais à sua potencial rocha fonte. O Sistema Estuarino Goiana-Megaó, localiza-se no extremo norte do Estado de Pernambuco e apresenta uma extensão de aproximadamente 18 km. Este trabalho tem como objetivo a caracterização dos minerais pesados dos sedimentos de fundo deste estuário e com isso inferir sua potencial área fonte. Foram coletados 4 testemunhos, 19 amostras superficiais de fundo e 12 amostras de rocha em áreas à montante do rio. As amostras de rocha foram retiradas de diferentes litologias: Complexo Vertentes, Complexo Salgadinho, Complexo Surubim Caroalina, Ortognaisse Mata Limpa e Formação Barreiras. As amostras de rochas foram britadas, passadas por um processo de moagem e fracionadas (de 0,062 a 1mm) para análise dos minerais em lupa binocular. Os testemunhos foram fracionados em níveis, gerando 19 amostras, cada amostra foi bateada para concentração dos minerais pesados. As amostras superficiais de fundo e de testemunho passaram por posterior identificação dos minerais, com auxílio de lupa binocular e guias de determinação de minerais em grãos. Para tal identificação, foram utilizadas propriedades físicas, tais como, cor, hábito e tamanho. Posteriormente, estes minerais passaram por imageamento em microscópio eletrônico de varredura (MEV), e análises de química mineral. Para se inferir a proveniência, os minerais identificados nas amostras de sedimentos do rio foram comparados com minerais das rochas (potenciais fontes) coletadas e também com dados da literatura. Os minerais pesados identificados nas amostras de areia foram, em ordem de abundância: Ilmenita, Cianita, Turmalina, Zircão, Epidoto, Espodumênio, Diopsídio, Rutilo, Hornblenda, Silimanita e Granada. Com base nos resultados, sugere-se que a proveniência desses minerais seja da suíte Intrusiva Conceição (rochas ígneas), do Ortognaisse Mata Limpa (rochas metamórficas), Complexo Salgadinho (rochas metamórficas), Complexo Vertentes (rochas metamórficas), Complexo Surubim Caroalina (rochas metamórficas) e da Formação Barreiras (rochas sedimentares).

PALAVRAS-CHAVE: Proveniência sedimentar. Minerais pesados. Rio Goiana.

ABSTRACT

The study of heavy minerals consists of significant scientific importance because they occur as accessory minerals in sediments and sedimentary rocks are derived from the weathering and erosion of igneous, metamorphic and sedimentary rocks. Allowing an association of these minerals to their potential source rock. The Goiana-Megaó complex, is located in the northern of Pernambuco and has an extension of approximately 18 km. This studies goal is the characterization of heavy minerals in sediments of estuary and interpretation of the probable source area. For representative, samples were collected from sediments of the river and 12 rock samples in areas upstream of the river. The rock samples were taken from different lithologies: Complexo Vertentes, Complexo Salgadinho, Complexo Surubim Caroolina, Ortognaisse Mata Limpa and Formação Barreiras. The rock samples were crushed and fractionated (0,062 to 1mm) for analysis of the minerals in a binocular loupe. The testimony samples were fractionated in levels, generating 19 samples, each sample was bathed for concentration of heavy minerals. The surface bottom samples and testimony samples passed through A later identification of the minerals, using a binocular loupe and grain determination guides. For this identification, were used physical properties such as color, habit and size. Subsequently these minerals were imaged by scanning electron microscopy (SEM), and mineral chemistry analyzes. To infer the provenance, the minerals identified in the river sediment samples were compared with minerals from the rocks (potential sources) collected and also with data from the literature. The heavy minerals identified in the sand samples were, in order of abundance: Ilmenite, Kyanite, Tourmaline, Zircon, Epidote, Spodumene, Diopside, Rutile, Hornblende, Silimanite and Granada. Based on the results, it is suggested that the origin of these minerals are from the Suíte Intrusiva Conceição (igneous rocks), Ortognaisse Mata Limpa (metamorphic rocks), Complexo Salgadinho (metamorphic rocks), Complexo Vertentes (metamorphic rocks), Complexo Surubim Caroolina (metamorphic rocks) and Formação Barreiras (sedimentary rocks).

KEYWORDS: Sedimentary provenance. Heavy minerals. Goiana River.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01. Mapa de localização da área de estudo – Sistema Estuarino Goiana-Megaó.....	23
Figura 02. Tipologia climática da bacia hidrográfica do rio Goiana.....	24
Figura 03. Afluentes dos rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém.....	26
Figura 04. Hierarquia fluvial e as principais sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Goiana.....	26
Figura 05. Mapa Geológico da sub-bacia hidrográfica do Capibaribe Mirim e Tracunhaém.....	30
Figura 06. Quadro litoestratigráfico da Bacia da Paraíba e da Bacia de Pernambuco.....	31
Figura 07. Pontos de coleta de amostras de rocha em afloramentos a montante da bacia do Sistema Estuarino Goiana/Megaó.....	41
Figura 08. Localização das estações de coleta de testemunhos no Sistema Estuarino Goiana/Megaó e amostras da Formação Barreira ao longo do Sistema.....	43
Figura 09. Coleta de testemunhos ao longo do Sistema Estuarino Goiana-Megaó.	44

Figura 10. Trabalhos de campo (Ponto 1), afloramento de paragnaisse, Complexo Vertentes.....	46
Figura 11. Trabalhos de campo (Ponto 02), afloramento de xisto psamítico, Complexo Vertentes.....	46
Figura 12. Trabalhos de campo (Ponto 03), afloramento de Gnaisse bandado, Ortognaisse Mata Limpa.....	47
Figura 13. Trabalhos de campo (Ponto 04), afloramento de ortognaisse no Complexo Vertentes. Observa-se planos de foliação proeminente da rocha, e veios pegmatíticos que cortam a mesma.	47
Figura 14. Trabalhos de campo (Ponto 05), afloramento de gnaisse do Complexo Vertentes.	48
Figura 15. Trabalhos de campo (Ponto 06), afloramento de dique de composição granítica, retrogranular fino, ao longo da foliação Ortognaisse Vertentes.....	48
Figura 16. Trabalhos de campo (Ponto 07), afloramento de arenito com granulação média a grossa, constituído predominantemente por grãos de quartzo e óxidos hidróxidos de ferro da Formação Barreiras.....	49
Figura 17. Trabalhos de Campo (Ponto 09), afloramento de gnaisse bandado, do Complexo Salgadoinho, milonitizado por estar localizado em zona de cisalhamento.....	49

Figura 18. Trabalhos de campo (Ponto 11), afloramento de arenito grosso conglomerático da Formação Barreiras.	50
Figura 19. Trabalhos de Campo (Ponto 12), afloramento de arenito da Formação Barreiras.	50
Figura 20. Trabalhos de Campo (Ponto 14), afloramento de Arenitos grossos a conglomeráticos com intercalações de camadas siltico-argilosas da Formação Barreira.	51
Figura 21. Localização dos pontos de coleta das amostras superficiais de fundo.....	52
Figura 22. Amostra P1, gnaisse bandado, homogêneo, com presença de augens.	54
Figura 23. Gnaisse fino paraderivado, homogêneo. Composto principalmente por quartzo, feldspato e biotita. P2.1.....	55
Figura 24. Xisto psamítico (amostraP2.2).....	57
Figura 25. Imagem do MEV de grão de hornblenda identificado na amostra P2.1.	56
Figura 26. P3.2.1 Gnaisse bandado, com bandas de até 1cm (amostra P3)....	57
Figura 27. Imagem do MEV de grão de titanita (seta vermelha) em fragmento de rocha identificado na amostra P3.....	58
Figura 28. Ortognaisse de composição monzogranítica, cortado por veio pegmatítico (Amostra P4).....	59

Figura 29. Seta vermelha indica grão de Titanita em fragmento de rocha.....	59
Figura 30. Imagens de minerais pesados em fragmentos de rochas da amostra P4 no MEV.....	60
Figura 31. Amostra P5, gnaisse com composição monzogranítica.....	61
Figura 32. Minerais pesados identificados em lupa binocular na amostra P5...61	
Figura 33. Dique de composição granítica retrogranular fino (amostra P6).....	62
Figura 34. Imagem do Mev de grão de Epidoto (amostra P6).....	62
Figura 35. Imagem do MEV de grão de estauroлита (amostra P6).....	63
Figura 36. Arenito de granulação média a grossa (amostraP7).....	64
Figura 37. Lente de quartzito (amostra P8).	64
Figura 38. Gnaisse bandado, milonitizado (amostra P9).....	65
Figura 39. Fotografia do testemunho e de raio-x do testemunho, com desenho esquemático contendo a descrição detalhada dos sedimentos do Testemunho 01.....	69
Figura 40. Fotografia com desenho esquemático contendo a descrição detalhada dos sedimentos do Testemunho 02.....	72
Figura 41. Fotografia com desenho esquemático contendo a descrição detalhada dos sedimentos do Testemunho 03.....	74
Figura 42. Fotografia com desenho esquemático contendo a descrição detalhada dos sedimentos do Testemunho 04.....	77

Figura 43. Percentual dos minerais identificados nas amostras dos testemunhos 1, 2, 3 e 4.	78
Figura 44. Gráfico de percentual de ilmenita nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.....	79
Figura 45. Grãos de ilmenita de coloração preta, amostra T1N1.....	79
Figura 46. Gráfico do percentual de cianita nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.	80
Figura 47. Minerais em grãos de cianita com coloração variando entre grãos transparentes, azuis e vermelhos (amostra T3N1).	81
Figura 48. Minerais em grãos de cianita (amostra T1N4), com tonalidade laranja avermelhada devido à presença de película de óxido de ferro ou argila.....	81
Figura 49. Minerais em grãos de cianita transparente, levemente azulada (amostra T1N2).....	82
Figura 50. Imagem do MEV de cianita em grão mostrando clivagem/fratura com ângulo de 90 ° (amostra T4N1).	82
Figura 51. Imagem do MEV de grão de cianita (amostra T4N3). Tablete achatado, alongado segundo seu eixo principal. Apresenta feição de desgaste químico.....	83
Figura 52. Gráfico do Percentual de turmalina nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.	84
Figura 53. Minerais em grãos de turmalina da amostra T3N2.....	84

Figura 54. Grão de turmalina em imagem do MEV, extremidade fraturada e marcas de impactos.	85
Figura 55. Grão de turmalina em imagem do MEV, feições de dissolução, ranhuras e marcas de choque por partícula aderente.....	85
Figura 56. Gráfico do Percentual de zircão nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.....	86
Figura 57. Grãos de zircão rosa transparente e prismáticos.....	87
Figura 58. Grãos de zircões incolores e coloridos. Os coloridos apresentam variações do creme ao castanho escuro.	87
Figura 59. Grãos de zircões incolores e com cores que variam do creme ao castanho escuro.	88
Figura 60. Grão de zircão euédrico de coloração creme, apresenta marca de dissolução e marcas de choque.....	88
Figura 61. Grão de zircão prismático apresentando na sua extremidade feições de dissolução e desgaste físico.....	89
Figura 62. Grão de zircão euédrico, apresenta superfície de fratura, marca de impacto e marca de impacto.	89
Figura 63. Zoom do zircão da imagem anterior evidenciando marca de impacto.	90
Figura 64. Grão de zircão com extremidades desgastadas e quebradas em consequência, seta indica superfície com aspecto de dissolução.....	90

Figura 65. Zoom do grão de zircão, em evidência a superfície com aspecto de dissolução.....	91
Figura 66. Grão de zircão metamórfico (devido ao seu formato), fisicamente alterado, apresentando marcas de fratura.	91
Figura 67. Zoom de zircão metamórfico, evidenciando fraturas.....	92
Figura 68. Gráfico do Percentual de epidoto nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.	93
Figura 69. Grãos de epidoto na cor verde amarelada (amostra T1N4).....	93
Figura 70. Gráfico do Percentual de espodumênio nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.....	94
Figura 71. Minerais em grãos de espodumênio.....	94
Figura 72. Grão de Espodumênio (amostra T1N4), grão prismático, apresentando estrias verticais e aspecto fibroso. Seta indica extremidade fraturada indicando desgaste físico.....	95
Figura 73. Gráfico do Percentual de diopsídio nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.	95
Figura 74. Gráfico do Percentual de rutilo nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.....	96
Figura 75. Grão de rutilo (amostra T3N3).....	96

Figura 76. Imagem de MEV de grão de ilmenorutilo (variação do rutilo que contém ferro em sua composição química). Em sua superfície apresenta sulcos.	97
Figura 77. Imagem de MEV ampliada de grão de Ilmenorutilo, apresentando fratura conchoidal, marca de choque por partícula aderente (seta vermelha) e presença de sulcos.	97
Figura 78. Imagem de espectrograma por WDS do rutilo (amostra T3N3), detectado Fe.	98
Figura 79. Gráfico do Percentual de hornblenda nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.	98
Figura 80. Imagem do MEV de grão de hornblenda da amostra T1N3. Prisma alongado com aspecto fibroso, apresenta estrias e também clivagem em ângulos maiores que 90°.....	99
Figura 81. Imagem do MEV de grão de hornblenda ampliado da amostra T1N3.	99
Figura 82. Imagem do MEV de grão de hornblenda ampliado da amostra T1N3. Seta indica presença de estrias.....	100
Figura 83. Gráfico do Percentual de silimanita nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.	101
Figura 84. Minerais em grãos de silimanita (amostra T1N1).....	101
Figura 85. Imagem do MEV de grão de silimanita (amostra T1N1).....	102

Figura 86. Imagem do MEV de zoom do grão de silimanita, seta indica a presença de cristas irregulares na superfície do grão. (amostra T1N1).....	102
Figura 87. Gráfico do Percentual de granada nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.	103
Figura 88. Grãos de granada vermelho/vinho e laranja (amostra T1N2).....	103
Figura 89. Grãos de granada vermelho e laranja (amostra T1N1).....	104
Figura 90. Gráfico do percentual dos minerais pesados mais representativos do testemunho 1 em relação à granulação das amostras ao longo do testemunho.....	105
Figura 91. Gráfico do percentual dos minerais pesados mais representativos do testemunho 2 em relação à granulação das amostras ao longo do testemunho.	105
Figura 92. Gráfico do percentual dos minerais pesados mais representativos do testemunho 3 em relação à granulometria das amostras ao longo do testemunho.	107
Figura 93. Gráfico do percentual dos minerais pesados mais representativos do testemunho 4 em relação à granulometria das amostras ao longo do testemunho.	107
Figura 94. Mapa de localização dos testemunhos com gráfico/percentual de minerais pesados em cada amostra de testemunho.....	108
Figura 95. Percentual de minerais pesados no testemunho 01.....	110
Figura 96. Percentual de minerais pesados no testemunho 02.....	111

Figura 97. Percentual de minerais pesados no testemunho 03.....	111
Figura 98. Índice de maturidade mineralógica, ZTR (Zircão + Turmalina + Rutilo) das amostras analisadas (%)......	113
Figura 99. Mapa dos pontos de coleta de testemunhos com os respectivos Índice de maturidade mineralógica, ZTR (zircão + turmalina + rutilo) das amostras analisadas (%)......	114
Figura 100. Percentual do índice Ru-Zi (RZ) nas amostras.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Minerais pesados componentes das litologias/rochas potenciais fontes dos sedimentos do Rio Goiana/Megaó, investigadas nesta pesquisa de acordo com dados de.....	28
Tabela 02. Minerais pesados derivados de certos tipos de rochas.....	37
Tabela 03. Litotipo versus associações minerais.....	38
Tabela 04. Estabilidade dos minerais pesados.....	39
Tabela 05. Dados dos afloramentos onde foram coletadas as amostras representativas do embasamento e da Formação Barreiras.....	42
Tabela 06. Minerais identificados nas amostras de sedimentos superficiais de fundo, investigados nesta pesquisa.....	67
Tabela 07. Granulometria, composição, arredondamento e esfericidade dos grãos descritos macroscopicamente do testemunho 1.....	68
Tabela 08. Granulometria, composição, arredondamento e esfericidade dos grãos descritos macroscopicamente do testemunho 2.....	71
Tabela 09. Granulometria, composição, arredondamento e esfericidade dos grãos descritos macroscopicamente do testemunho 3.....	75
Tabela 10. Granulometria, composição, arredondamento e esfericidade dos grãos descritos macroscopicamente do testemunho 4.....	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.2	OBJETIVOS.....	22
2	ÁREA DE ESTUDO	23
2.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	23
2.2	CLIMA.....	23
2.3	VEGETAÇÃO.....	24
2.4	RELEVO.....	25
2.5	HIDROGRAFIA.....	25
2.6	ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	27
3	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	34
3.1	MINERAIS PESADOS.....	34
3.2	ASSOCIAÇÕES DE MINERAIS PESADOS.....	35
3.3	ESTABILIDADE MINERAL, MECÂNICA E QUÍMICA.....	36
4	MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	40
4.2	TRABALHOS DE CAMPO.....	40
4.3	TRABALHOS DE LABORATÓRIO.....	45
4.3.1	Amostras de rochas	45
4.3.1.1	Descrição de amostras de rochas.....	45
4.3.2	Amostras superficiais de fundo (complexo estuarino Goiana/ Megaó)	51
4.3.3	Testemunhos	52
4.4	ANÁLISE DOS MINERAIS PESADOS.....	53
4.5	IMAGEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA POR MICROANÁLISE PONTUAL POR MEV-WDS.....	5
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1	DESCRIÇÃO MINERALÓGICA E DE MINERAIS PESADOS DAS AMOSTRAS DE ROCHAS (POTENCIAIS FONTES DOS SEDIMENTOS).....	54
5.2	AMOSTRAS SUPERFICIAIS DE FUNDO.....	66
5.3	AMOSTRAS DE SEDIMENTOS DE TESTEMUNHO.....	68

5.3.1	Caracterização dos minerais pesados nas amostras de testemunho.....	77
5.4	PROCESSOS ATUANTES.....	111
5.4.1	Índice de maturidade mineralógica ztr (zircão + turmalina + rutilo).....	112
5.4.2	Ru-zi (rutilo + zircão).....	115
5.5	PROVENIÊNCIA	116
6	CONCLUSÕES.....	119
	REFERÊNCIAS.....	122
	ANEXO A - TABELA COM AS COORDENADAS DOS TESTEMUNHOS.....	127
	ANEXO B - PERCENTUAL DOS MINERAIS IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DOS TESTEMUNHOS 1, 2, 3 E 4.....	128
	ANEXO C - ESPECTROGRAMA DE ELEMENTOS QUÍMICOS POR WDS DE GRÃO DE TITANITA EM FRAGMENTO DE ROCHA (AMOSTRA P4).....	129
	ANEXO D - ESPECTROGRAMA DE ELEMENTOS QUÍMICOS POR WDS DE GRÃO TITANITA EM FRAGMENTO DE ROCHA (AMOSTRA P4).....	129
	ANEXO E - ESPECTROGRAMA DE ELEMENTOS QUÍMICOS POR WDS DE GRÃO DE ZIRCÃO EM FRAGMENTO DE ROCHA (AMOSTRA P4).....	129

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas estuarinos apresentam elevada produtividade biológica, e são responsáveis por fornecer uma ampla variedade de recursos naturais importantes para a manutenção da biodiversidade local e para a sobrevivência das comunidades humanas (Rocha *et al.*, 2009).

Seu valor ambiental, sua alta dinâmica morfológica e sedimentar, responsável pelo amortecimento da energia hidráulica do mar e sua importância socioeconômica, têm motivado diversas pesquisas em busca de um melhor conhecimento, utilização racional e preservação destes ambientes. Por ser um ambiente tão rico e dinâmico, os estuários, tornam-se alvo de diversas pesquisas.

O sistema estuarino Goiana-Megaó, por sua vez, situado no extremo norte do Estado de Pernambuco, forma um sistema que corresponde a uma das maiores formações de manguezais do litoral pernambucano, desempenha um papel fundamental, servindo de viveiro natural para inúmeras espécies aquáticas, tais como moluscos, crustáceos e peixes, incluindo-se também nessa fauna, o peixe-boi, animal em extinção. (CPRH, 2005).

O uso e ocupação do solo nesta área incluem urbanização, instalações industriais, agroindústria canavieira, policulturas, carcinicultura, pecuária. A vegetação predominante são os manguezais, que vem sendo ameaçada, pelas atividades canavieiras e urbanização.

Minerais pesados são grãos detríticos com alta densidade (acima 2,9 g/cm³), que ocorrem como minerais acessórios em areias derivadas da erosão de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. São frequentemente utilizados como ferramenta para a determinação da proveniência sedimentar. Eles podem ser identificados baseados nas suas propriedades físicas ou submetendo-os a um forte campo magnético (Almeida *et al.*, 2011).

Esses minerais representam grande importância econômica, como placeres, sua concentração e volume são parâmetros importante que se destacam quando o objetivo da pesquisa é focado na prospecção mineral (Almeida *et al.*, 2011). Segundo Addad, (2001), *placers* são acumulações

sedimentares formadas pela concentração mecânica de minerais detríticos de valor econômico, incluindo diversos bens metálicos ou pedras preciosas, originados a partir da decomposição e erosão de rochas-fonte. Os *placers* apresentam, em geral, concentrações consideráveis de ilmenita, cassiterita, ouro, diamante, monazita, zircão, entre outros minerais estratégicos que em determinadas áreas formam jazidas passíveis de exploração.

O estudo dos minerais pesados representa uma referência para a caracterização dos processos sedimentares de transporte, velocidade de fluxo hidráulico, erosão e deposição, parâmetros que definem os ambientes sedimentares. Maiores ou menores concentrações de minerais pesados podem indicar períodos de tempo nos quais os processos sedimentares manifestaram-se com intensidades diferentes, refletindo níveis variáveis de energia ambiental e, desta forma, constituem uma excelente ferramenta para a reconstituição dos paleoambientes, paleoclimas e paleogeografia. Esses apresentam, também grande importância econômica; sua concentração e volume são parâmetros importantes que se destacam quando o objetivo da pesquisa está focado na prospecção mineral (*Almeida et al., 2011*).

Os minerais pesados, de modo geral, tendem a concentrar-se no ciclo sedimentar, em razão de algumas espécies serem muito resistentes aos processos de intemperismo e diagênese. Devido a tais propriedades, esses minerais, quando utilizados em associação, podem ter aplicação em análises estratigráficas, bem como auxiliar na identificação de áreas-fontes de materiais sedimentares (Morton, 1984; Weltje & von Eynatten, 2004).

Essa relação pode ser inferida em decorrência de determinadas espécies de minerais pesados serem características de grupos específicos de rochas-fontes, fazendo com que a sua deposição e distribuição na área de sedimentação possam ser utilizadas como indicativo das direções das correntes preferenciais do transporte sedimentar (Santos & Gasparetto, 2008).

Estudo dos minerais pesados em sedimentos do Sistema Estuarino Goiana/Megaó nunca foram realizados. Os resultados obtidos nesta pesquisa são importantes pois propiciam parâmetros que permitem uma melhor compreensão a respeito da evolução geológica cenozóica da região, a partir da identificação da proveniência e do padrão de dispersão dos sedimentos

(Tomazelli, 1978; Mezzadri & Saccani, 1989; Calliari *et al.*, 1990) bem como dos processos operantes ao longo do transporte.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo geral

Identificar e caracterizar as associações de minerais pesados nos sedimentos do Sistema Estuarino Goiana/Megaó voltado aos estudos da proveniência sedimentar.

Objetivos específicos

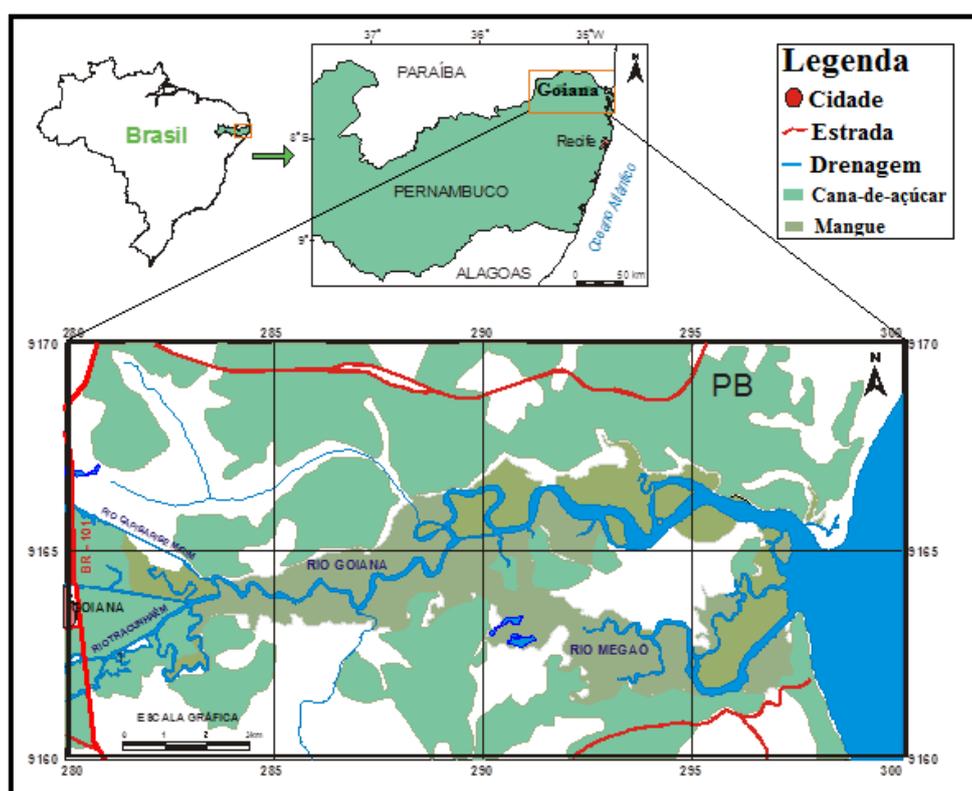
- Identificar os efeitos do transporte e intemperismo em suítes de minerais pesados.
- Correlacionar as províncias identificadas com aquelas presentes nos sedimentos da Formação Barreiras, e outras rochas identificadas à montante do Complexo Estuarino Goiana/Megaó.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está localizada no município de Goiana, extremidade norte do Estado de Pernambuco, na divisa com o Estado da Paraíba. A área estuarina formada pelos rios Goiana e Megaó (área de estudo), totaliza 4.776 hectares e estende-se a partir das imediações da cidade de Goiana até a foz desses rios, ao longo de uma extensão leste-oeste de, aproximadamente, 17km. Compõe-se de uma trama de rios, lagoas, pequenos canais, ilhas, ilhotas, áreas alagadas recobertas por densa vegetação de mangue (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo – Sistema Estuarino Goiana-Megaó. Modificado de CPRH (2005).

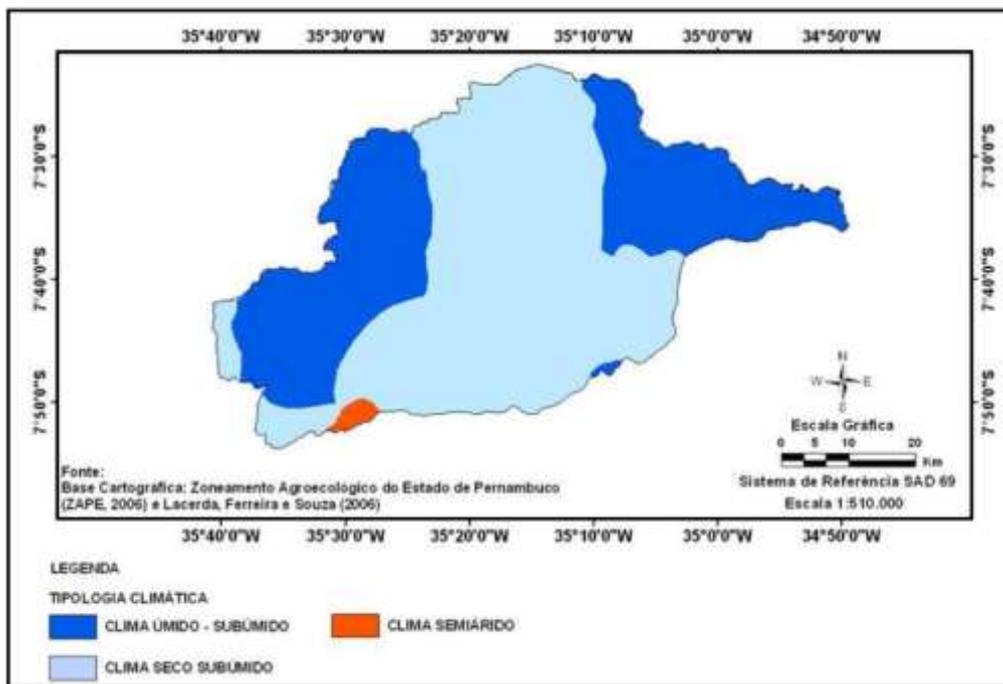


2.2 CLIMA

De acordo com, Lacerda *et al.*, (2006), Santos, (2010) e Santos & Galvíncio, (2008) destacam a presença do clima Úmido Subúmido, do Seco Subúmido e do Semiárido. O clima Úmido Subúmido ocupa uma área que se estende do litoral até aproximadamente 35°8' de longitude oeste e reaparece na encosta setentrional do Planalto da Borborema e nas serras do

Mascarenhas. O clima Seco Subúmido é encontrado na região central da bacia. O clima Semiárido, ocupa uma pequena área na porção sudoeste da bacia hidrográfica (Santos, 2010) (Figura 02).

Figura 02: Tipologia climática da bacia hidrográfica do rio Goiana (Fonte: adaptado de Santos, 2010).



2.3 VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal do Litoral Norte de Pernambuco, originalmente, corresponde à Mata Atlântica, cuja vegetação e diversidade biológica têm sido, desde os tempos coloniais, destruídas pela cultura da cana-de-açúcar. O saldo dessa devastação está representado por alguns remanescentes dessa Mata que, em geral, recobrem encostas de tabuleiros e morros com alta declividade e, em menor proporção, colinas e modelados suaves da porção oriental da área, onde a ocupação urbana e o parcelamento da terra para granjas e chácaras motivaram a destruição quase total das matas.

A vegetação litorânea divide-se em vegetação praieira composta por herbáceas e palmáceas e por manguezais. A vegetação é constituída por árvores e arbustos que crescem ao longo de estuários, canais de maré e costas protegidas. Sob o ponto de vista fitogeográfico, estão inseridos num complexo denominado Domínio Tropical Atlântico (Ab' Saber, 1990).

2.4 RELEVO

As feições geomorfológicas que se destacam na faixa costeira de Pernambuco, em geral estão relacionadas à Formação Barreiras formando três unidades: colinas, tabuleiros e planícies.

Os compartimentos geomorfológicos encontrados na região são os tabuleiros representados pelos sedimentos da Formação Barreiras e a planície costeira. A porção norte da Região Metropolitana do Recife, segundo a classificação dos Domínios Morfoclimáticos Brasileiros de Ab'Saber (1970), está inserida no domínio dos mares de morros, descrito como áreas mamelonares tropicais atlânticas florestadas, desenvolvidos em terrenos cristalinos (França, 2013).

O planalto rebaixado litorâneo apresenta-se intensamente dissecado e localizado no sopé oriental do Planalto da Borborema. Comportam a mesma litologia do Planalto da Borborema: rochas pré-cambrianas graníticas e migmatíticas, ocorrendo também coberturas Plio-Pleistocênica (Formação Barreiras), que aparecem apenas nos topos das colinas e do Neógeno inconsolidado (planícies aluviais) (França, 2013).

2.5 HIDROGRAFIA

O rio Goiana é formado a partir da confluência dos rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém que se encontram à jusante do município de Goiana, com extensão de aproximadamente 17 km até a foz no Oceano Atlântico (Figuras 03 e 04).

Os principais afluentes do Capibaribe-Mirim são: na margem esquerda, o rio Tambémé, Tiúma, Ferreiros e Mulungú; na margem direita, os rios Sirigi e Cruangi. Os afluentes do rio Tracunhaém são: pela margem direita, os rios Canguengo, Itapinassu e Caraú, pela margem esquerda os rios Marajó, Orobó, Ribeiro e Acaú. Os limites da bacia abrangem um total de 22 municípios, as cidades de Goiana, Timbaúba, Vicência, Aliança, Itambé, Nazaré da Mata, Camutanga e Itaquitinga são as que se destacam (CPRH, 1996 e 1997).

Figura 03: Afluentes dos rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém. (Fonte: adaptado de Aprile e Farias, 2001).

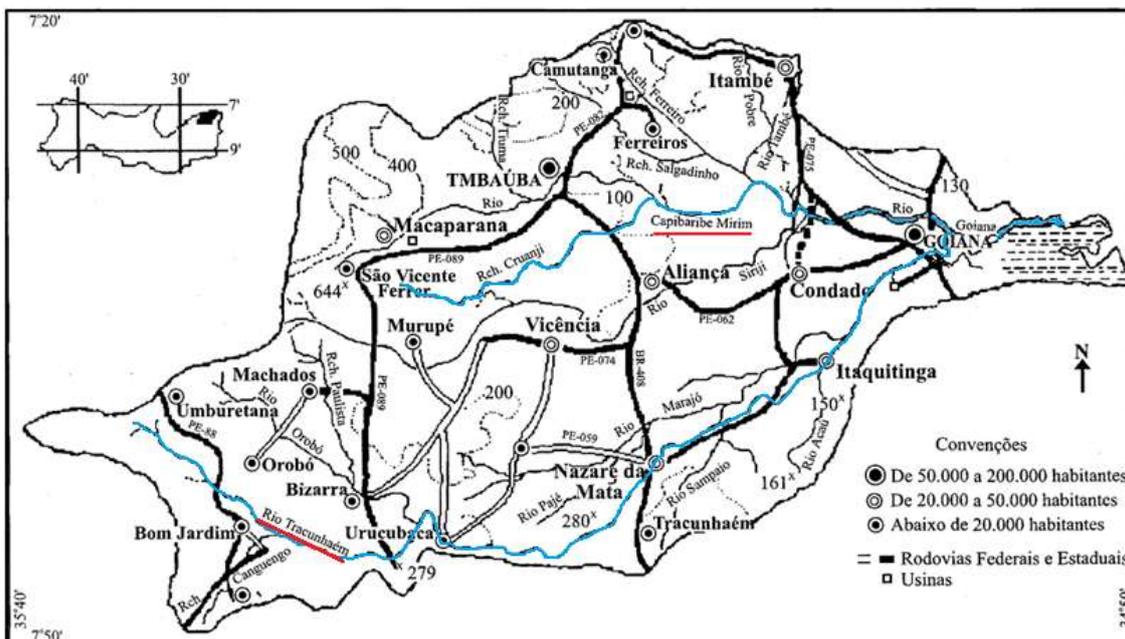
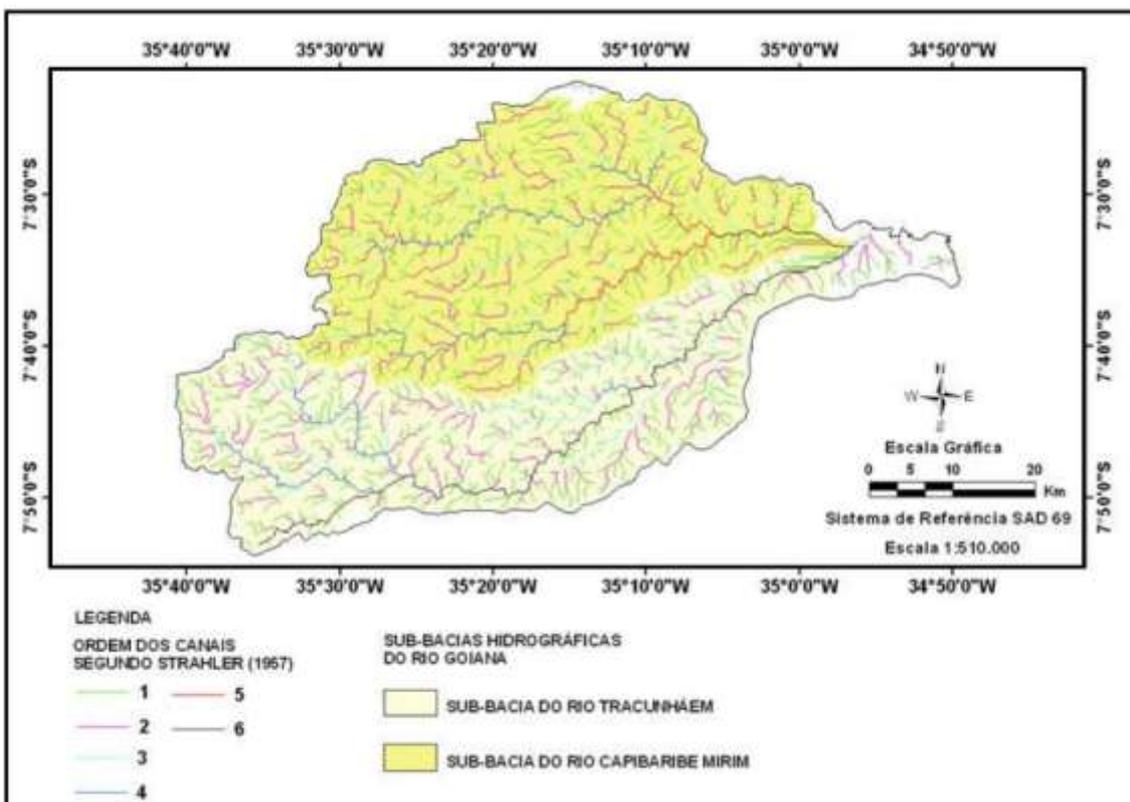


Figura 04: Hierarquia fluvial e as principais sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Goiana (Fonte: adaptado de Aprile e Farias, 2001).



2.6 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Na área de estudo e à montante do Rio Goiana, mais precisamente ao longo da sub-bacia hidrográfica dos rios Capibaribe Mirim e Tracunhaém, o contexto geológico está representado pelas unidades rochosas do embasamento cristalino e depósitos quaternário da Formação Barreiras (Figura 06).

O embasamento está representado pelas seguintes unidades: Suíte Intrusiva Conceição, Ortognaisse Mata Limpa, Complexo Surubim Caroalina, Complexo Vertentes, Complexo Salgadinho e Ortognaisse Vertentes (CPRM, 2010).

O Complexo Vertentes é formado por ortognaises bandados de idades paleoproterozóicas. A composição mineralógica é plagioclásio, hornblenda e biotita como minerais essenciais, como quartzo e feldspato potássico ocorrendo em proporções variadas, sendo granada um acessório comum (CPRM, 2010).

O Complexo Salgadinho é descrito como uma unidade metaplutônica de provável idade paleoproterozóica (Bizzi et al. 2003). Sendo dominante a fácies hornblenda-biotita gnaisse de composição sienogranítica a granodiorítica, com textura equigranular, granulação média a grossa e com coloração variando de cinza esbranquiçada a rósea (CPRM, 2010).

O Complexo Surubim-Caroalina compreende uma ampla variedade de tipos litológicos, micaxistos e paragnaises pelíticos a semi-pelíticos, leucognaises, anfibólio-biotita paragnaises, quartzitos, mármore, rochas calcissilicáticas e para-anfibolitos. As rochas predominantes no Complexo Surubim-Caroalina têm como principais minerais, biotita, quartzo e plagioclásio. A muscovita é abundante em alguns locais, mas geralmente ocorre em quantidade subordinada com respeito à biotita. A granada é um acessório comum, muitas vezes constituindo mais de 5% da moda da amostra. Sillimanita é o mineral aluminossilicato frequente e a cianita foi observada em poucos (CPRM, 2010).

O Ortognaisse Mata Limpa apresenta-se róseo, leucocrático, de granulação média/grossa. É composto essencialmente por quartzo e feldspatos, possuindo menos de 5% de biotita e minerais acessórios.

Ocorre como *sills* centimétricos a métricos em paragneisses pelíticos do Complexo Surubim.

A Suíte Intrusiva Conceição consiste predominantemente de biotita-anfibólio granodioritos grossos, com epidoto, localmente com fácies graníticas mais félsicas de granulação média. Enclaves máficos e *clots* de anfibólio são comuns e uma trama gnáissica está presente na maioria dos afloramentos. Como mineralogia acessória estão presentes titanita, apatita, zircão, anfibólio, actinolita e epidoto (CPRM, 2010). Os minerais pesados identificados nessas litologias por (CPRM, 2010), seguem na tabela 01.

Tabela 01: Minerais pesados componentes das litologias/rochas potenciais fontes dos sedimentos do Rio Goiana/Megaó, investigadas nesta pesquisa. Legenda: Ap- apatita, Bt- Biotita, Ep – epidoto, Gr – Granada, Hbl – hornblenda, Ky – cianita, Mag- magnetita, Ms- moscovita, Rut – rutilo, Sil – silimanita, Ilm – ilmenita, Ttn- titanita, Tur – turmalina, Zrn – zircão.

Litologia/ Rocha	Ap	Bt	Ep	Gr	Hbl	Ky	Mag	Ms	Sil	Rut	Ttn	Tur	Ilm	Zrn
Barreiras (rochas sedimentares)		X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X
Suíte Intrusiva Conceição (rochas ígneas)	X	X	X		X						X			X
Ortognaisse Mata Limpa (rochas metamórficas)		X												
Complexo Surubim Caroolina (rochas metamórficas)	X	X		X	X	X		X	X			X		X
Complexo Vertentes (rochas metamórficas)	X	X	X	X	X			X	X		X			X
Complexo Salgadinho (rochas metamórficas)		X	X	X	X		X							X
Ortognaisse Vertentes (rochas metamórficas)		X		X										X

Fonte: (CPRM, 2010).

Mais precisamente ao longo do Rio Goiana, a área de estudo está inserida geologicamente na Bacia da Paraíba (Figuras 5 e 6). Trata-se de uma bacia costeira, de idade Mesozóica, cuja origem e evolução estão intrinsecamente ligadas aos fenômenos da deriva continental - separação dos continentes sul-americano e africano e a formação do oceano Atlântico (Souza, 2006). Apresenta-se como uma faixa estreita da costa nordeste do Brasil, ocupando o litoral norte do Estado de Pernambuco e parte do litoral norte do

Estado da Paraíba, perfazendo uma área de aproximadamente de 5.300 km² em sua porção emersa, sendo limitada ao sul pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco (ZCPE) e a norte pela falha de Mamanguape que representa uma ramificação da Zona de Cisalhamento Patos (ZCPA) (Barbosa, 2004 e 2007). O substrato da Bacia da Paraíba é formado por rochas pré-cambrianas, pertencentes à Província da Borborema. Sobre o embasamento cristalino depositou-se um pacote sedimentar cretáceo-paleocênico, de caráter continental/marinho e transgressiva/regressivo. Toda sequência é então recoberta por sedimentos terciários e quaternários (LAGESE, 2003) (Figura 05).

As sequências estratigráficas sedimentares cretáceas e plioleistocênicas estão representadas pelas Formações Beberibe, Itamaracá, Gramame, Maria Farinha e Barreiras.

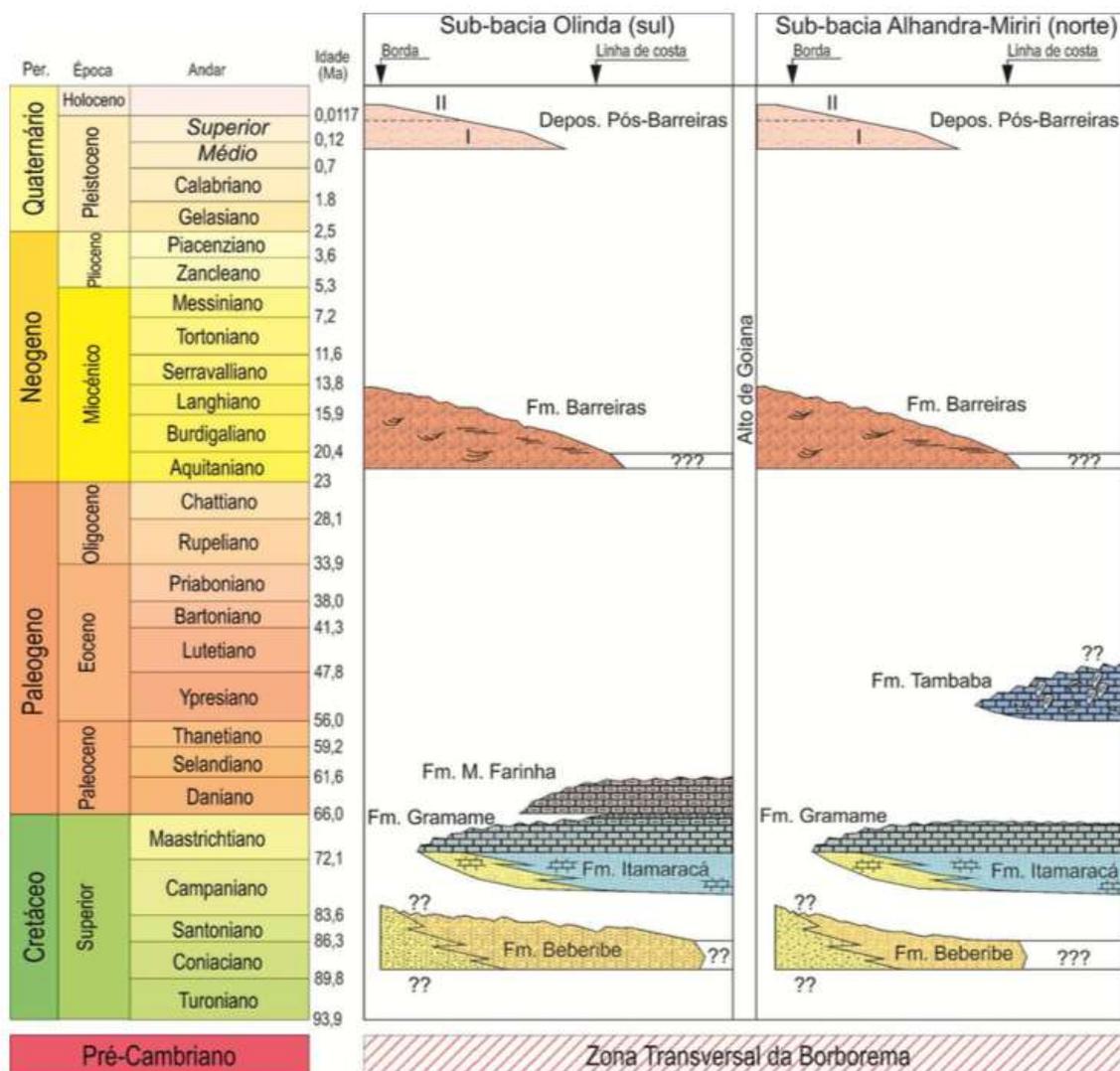
Formação Beberibe: inicia a sequência sedimentar por arenitos continentais fluviais e fluvio-lacustres da Formação Beberibe, depositados sobre o embasamento cristalino, cuja idade é inferida como Coniaciano? – Santoniano. (Kegel, 1954; Beurlen, 1967a, 1967b; Mabesoone & Alheiros, 1988; Souza, 1999; Barbosa, 2004, Souza, 2006, Barbosa, 2007 e Barbosa et al. 2007).

A Formação Beberibe é composta por arenitos continentais de médios a grossos, localmente conglomeráticos (Barbosa et. al., 2007). Segundo estes autores, com base em mapas de isópacas, a deposição desta formação está restrita à Bacia da Paraíba, sendo truncada ao sul pela ZCPE e norte pelo Alto de Mamanguape, sendo menos expressiva na Sub-bacia Alhandra-Miriri (Figura 05).

Formação Itamaracá: Esta unidade vem logo em seguida à Formação Beberibe, formada por sedimentos, cuja origem está associada a um evento transgressivo que recobriu os depósitos continentais basais, e são representados por arenitos calcíferos, calcários com siliciclastos e margas.

Esta unidade, de idade Neo-Campaniano – Eo-Maastrichtiano apresenta no topo uma superfície de inundação máxima caracterizada por uma zona rica em fosfato sedimentar. Os depósitos da Formação Itamaracá, com base em mapa de isópacas, são restritos também à Bacia da Paraíba (Barbosa et al., 2007).

Figura 06: Quadro litoestratigráfico da Bacia da Paraíba. (Correia Filho *Et. al.* 2016).



Formação Gramame: Em função de sua presença espacialmente mais ampla, apresenta-se dividida em três fácies, definidas, segundo Mabeoone & Alheiros (1991), por calcarenitos e calcários arenosos, muito fossilíferos, na base, interdigitando-se com fosforitos e, no topo, calcários biomicríticos argilosos, com uma fácies supramesolitoral, uma fosfática e uma marinha plena. A Formação Gramame, que tem idade do Maastrichtiano (Beurlen, 1967), têm como característica principal a disposição de parasequências, camadas plano-paralelas com grande continuidade lateral, mostrando o domínio de processos de agradiação em uma extensa plataforma carbonática com pouca inclinação para o centro da bacia (Barbosa, 2007).

Formação Maria Farinha: De acordo com (Barbosa, 2007), no topo da Formação Gramame, ocorre uma discordância erosiva, que é caracterizada por uma camada de carbonato com intraclastos, com aspecto conglomerático, que marca a base da Formação Maria Farinha. Na Bacia da Paraíba, esta camada marca a passagem Cretáceo-Terciário, conhecida em todo o mundo como um período de alterações catastróficas, pela presença de impacto de corpo (s) extraterrestre contra a superfície da Terra e por mudanças ambientais importantes. Esta camada, possivelmente marca um momento de queda do nível eustático, talvez, por influência tectônica na Bacia da Paraíba.

Formação Barreiras: Geralmente descrita como formada por arenitos de granulação grossa, de idade Plio – pleistocênica é constituída por níveis conglomeráticos e outros argilosos, assim como outros, ricos em óxido de ferro (Lima Filho, 1998). Constituída por arenitos quartzosos subarcoseanos e sedimentos argilosos, pouco consolidados, de coloração variegada, com níveis laterizados e caulínicos, apresentando três fácies distintas: fácies de leques aluviais, observadas desde o norte de Recife até o Alto de Mamanguape; fácies fluviais de canais entrelaçados, presentes em toda a faixa entre Recife e Natal; fácies de planície fluvio- lacustre ocorrendo na faixa litoral entre Recife e João Pessoa e na região de São José do Mipibu, Rio Grande do Norte (Souza, 2006; Barbosa *et. al.*, 2007).

Esta formação apresenta geomorfologia dominada por tabuleiros costeiros, de grande extensão, recortados por grandes vales de rios, na zona mais proximal da faixa costeira. Na zona de litoral ocorrem planícies costeiras e falésias (Barbosa *et al.*, 2007).

Como minerais pesados que compõem a Formação Barreiras na região, foram encontrados ilmenita, cianita, zircão, turmalina, epidoto, rutilo, estauroлита, granada, silimanita, espodumênio e xenotímio (França, 2013).

Terraços Holocênicos: Ocorrem como corpos alongados, mais ou menos contínuos, e paralelos a linha de costa, em largas faixas contínuas. Constituídos, essencialmente, de areias quartzosas, com cores claras, granulação média a grossa, medianamente selecionadas, com grãos arredondados a subarredondados e incluindo fragmentos de conchas, alcançando cotas de 3m (Lima Filho, 1998).

Depósitos de mangue: Caracterizados como depósitos recentes ou não encontrados em regiões protegidas da ação das ondas do mar, nas margens de canais de maré e nas porções distais de vales de rios e riachos, e que compreendem, principalmente, argilas ricas em matéria orgânica, porém com porções silticas e arenosas (Lima Filho, 1998).

Depósitos Litorâneos Praiais: São depósitos arenosos inconsolidados essencialmente quartzosos, bem selecionados, que ocupam faixas estreitas ao longo da costa. Com concentrações esporádicas de minerais pesados em placers (Lima Filho, 1998). França, 2013, identificou nas praias de Carne de Vaca, Pontas de Pedras e Acaú, os seguintes minerais pesados: ilmenita, cianita, zircão, turmalina, epidoto, rutilo, estauroлита, granada, silimanita, espodumenio e xenotímio.

Depósitos Aluvionares: Compostos por areia fina a média, argila e cascalho inconsolidados a semi-consolidados, localmente com porções rudíticas. As aluviões recentes estão presentes nos vales fluviais instalados em cotas mais elevadas. (Souza, 2006). Ao longo dos canais mais retilíneos das aluviões há predominância de sedimentos arenosos e já os sedimentos argilosos com matéria orgânica são depositados nas planícies de inundação, durante o transbordamento dos canais.

Correia Filho *et al.* 2016, acrescenta uma outra formação nesta coluna estratigráfica, a Formação Tambaba (Figura 05). Justificado pelo fato de os calcários recifais que ocorrem na região de litoral na porção norte da faixa costeira da Bacia Paraíba, foram tratados anteriormente como parte da Formação Maria Farinha, no entanto, estes apresentam um conteúdo fossilífero, e faciológico que os distingue da Formação Maria Farinha, que ocorre na porção sul da faixa costeira da bacia (Correia Filho *et al.* 2016). Estes depósitos embora apresentem ocorrência de superfície restrita na faixa costeira, devem ser tratados como uma unidade estratigráfica distinta da Formação Maria Farinha.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 MINERAIS PESADOS

Os minerais pesados são grãos cuja densidade é igual ou superior a 2,9 g/cm³. Ocorrem como minerais acessórios em sedimentos e rochas sedimentares, e são derivados do intemperismo e erosão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, dessa forma, atestam a origem e proveniência de sedimentos e rochas sedimentares. Esses minerais são relativamente resistentes às ações intempéricas e neles estão registradas as características particulares de suas fontes. Essa relação pode ser inferida em decorrência de determinadas espécies de minerais pesados serem características de grupos específicos de rochas-fontes, fazendo com que a sua deposição e distribuição na área de sedimentação sejam utilizadas como indicativo das direções das correntes preferenciais do transporte sedimentar (Santos & Gasparetto, 2008).

A importância atribuída aos minerais pesados provém da aplicabilidade de seu estudo e a interpretação dos resultados em vários aspectos relacionados à Sedimentologia, Estratigrafia e a Geologia Econômica (Machado, 2011). Em Sedimentologia, determinadas espécies desses minerais podem ser utilizadas para estudo de proveniência e, conseqüentemente, também como indicador da dinâmica sedimentar.

Os minerais pesados podem ser classificados em (leves) gravidade específica entre 4,2 e 5,3g/cm³, e (pesados) com densidade específica entre 6,8 e 21g/cm³ e gemas, onde a densidade específica varia entre 2,9 e 4,1g/cm³ (Emerye Noakes,1968). Os pesados (pesados) são transportados apenas por curtas distâncias (15 a 20 km) e envolvem principalmente o ouro, a platina e a cassiterita. Os pesados (leves) chegam mais comumente às zonas costeiras, concentrando-se em ambientes de deposição de alta energia. Eles compreendem principalmente a ilmenita, o rutilo, o zircão, a monazita e a magnetita. Com relação às gemas destaca-se o diamante, que se concentra principalmente em aluviões, mas também em praias e na plataforma continental (Emerye & Noakes,1968).

Dentre os minerais pesados, incluem-se muitas espécies tanto opacas como transparentes. O grupo dos opacos inclui principalmente óxidos e sulfuretos, normalmente integram-se na classe correspondente aos minérios. Como não é possível identificar estes minerais ao microscópio petrográfico, em

lâminas, utiliza-se geralmente o microscópio metalográfico, a análise com microsonda eletrônica e a utilização de microscópio eletrônico. O grupo dos minerais pesados transparentes consiste predominantemente em silicatos. Como transmitem a luz polarizada, são geralmente identificados, em lâminas, com microscópio petrográfico (Dias, 2004). Em lupa binocular, na análise de sedimentos, é possível identificar tanto os minerais opacos quanto os minerais transparentes, a separação e identificação é realizada a partir da observação de propriedades físicas (cor, hábito e forma) e posterior análise dos elementos químicos constituintes de cada mineral (em microscópio eletrônico de varredura, com o auxílio de espectrômetro de comprimento de onda acoplado).

A concentração dos minerais pesados ocorre, sobretudo, em virtude da perda de energia da corrente produzida pelo agente de transporte (rio, mar, vento) o que ocasionará a deposição desses materiais mais densos nos sítios mais propícios (Pereira *et al.*, 2005). No transporte fluvial, a deposição das partículas transportadas, se dá em determinados pontos onde ocorre a diminuição de velocidade da corrente, proporcionando assim, as concentrações aluviais. O acúmulo de cascalho é um bom indicador desses locais, tendo em vista seu peso em comparação aos minerais densos. Os locais mais favoráveis para a deposição dos minerais pesados, são os trechos mais côncavos (meandros) dos rios, pontos logo após o encontro de rios, obstáculos naturais no leito do rio, tendo em vista a diminuição da velocidade das correntes.

Em uma sucessão estratigráfica, maiores ou menores concentrações de minerais pesados podem indicar períodos 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).

3.2 ASSOCIAÇÕES DE MINERAIS PESADOS

Determinadas associações de minerais pesados são características e permitem reconhecer, na área estudada, a presença de determinados tipos de depósitos minerais, ou inferir a existência de determinados tipos rochosos bastante peculiares, favorecendo, em ambos os casos, as interpretações

geológicas (Pereira *et al.*, 2005). Algumas associações de minerais pesados relacionados aos principais tipos de rochas encontradas na crosta terrestre, estão dispostas nas Tabelas 02 e 03.

3.3. ESTABILIDADE MINERAL, MECÂNICA E QUÍMICA

Para o estudo da proveniência, é necessário agregar a análise mineralógica ao conhecimento da estabilidade mineral mecânica e química.

As concentrações de minerais pesados refletem vários fatores e processos atuantes. Existem aqueles que, apesar de ocorrerem em pequenas quantidades na rocha fonte, tendem a se enriquecer em quantidade relativa no ambiente de deposição pela sua alta resistência, como exemplo, o zircão, a turmalina e o rutilo (Tabela 04), o que resulta em concentrações de elevada maturidade mineralógica. Outros podem ser abundantes na fonte, mas devido à sua instabilidade e fragilidade são decompostos física e quimicamente com maior rapidez, e eliminados na direção do transporte como exemplo, os anfibólios, piroxênios e olivinas (França, 2013). 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 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, o que existe em climas quentes e úmidos (Johnsson, 1993; Morton e Hallsworth, 1999).

As ordens de grandeza do rio são definidas pelo tamanho dos mesmos. As amostras de primeira ordem provêm de riachos e córregos que erodem somente um tipo de litologia (ex: granito). As de segunda ordem são sedimentos de rios maiores que drenam cadeias de montanhas. As de terceira ordem são de sedimentos de grandes rios e seus deltas e praias, onde a composição reflete o ambiente tectônico pois drenam largas áreas continentais. As drenagens de segunda e terceira ordem vão misturando e concentrando os constituintes estáveis em relação aos instáveis e acabam fornecendo

sedimentos mais evoluídos, enquanto que as amostras de primeira ordem refletem diretamente a composição da área fonte (Machado, 2011).

Tabela 02: Minerais pesados derivados de certos tipos de rochas. (Adaptado de Pereira. *et al.*, 2005)

ROCHA	MINERAIS
ROCHAS ÍGNEAS ÁCIDAS	Biotita, Horblenda, Monazita, Moscovita, Titanita, Zircão
ROCHAS ÍGNEAS BÁSICAS	Anatásio, Augita, Broquita, Cromita, Hiperstênio, Ilmenita, Leucocônio, Olivina, Rutilo
PEGMATITOS	Cassiterita, Fluorita, Topázio, Turmalina
SEDIMENTOS RETRABALHADOS	Glauconita, Óxidos De Ferro, Rutilo, Turmalina, Zircão (Arredondado)
ROCHAS METAMÓRFICAS	Andalusita, Granada, Hornblenda Alcalina, Hornblenda Verde, Cianita, Silimanita, Estauroлита

Tabela 03: Litotipo versos associações minerais. (Adaptado de 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 CAOLCISSILICÁTICA	Diopsídio, Tremolita-Actinolita, Granada, Scheelita
ANFIBOLITOS	Hornblenda, Ilmenita
EXALITOS	Quartzo-Dravita, Quartzo- Espessartita, Quartzo-Gahnita

Tabela 04: Estabilidade dos minerais pesados. Adaptado de Pettijohn *et al.*, 1973).

MINERAIS	
MUITO INSTÁVEIS	Olivina
INSTÁVEIS	Hornblenda, Actinolita, Augita, Diopsido, Hiperstênio, Andalusita
MODERADAMENTE ESTÁVEIS	Epídoto, Cianita, Granada (Rica Em Ferro), Sillimanita, Titanita, Zoisita
ESTÁVEIS	Apatita, Granada (Pobre Em Ferro), Estauroлита, Epidoto, Monazita
ULTRA ESTÁVEIS	Rutilo, Zircão, Turmalina, Anátasio

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho incluiu as seguintes etapas:

4.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Foram inventariados trabalhos referentes à área e ao tema estudado, dados disponíveis na literatura sobre a geologia da área, histórico e estudos sobre o uso de minerais pesados em proveniência sedimentar no Brasil e no exterior.

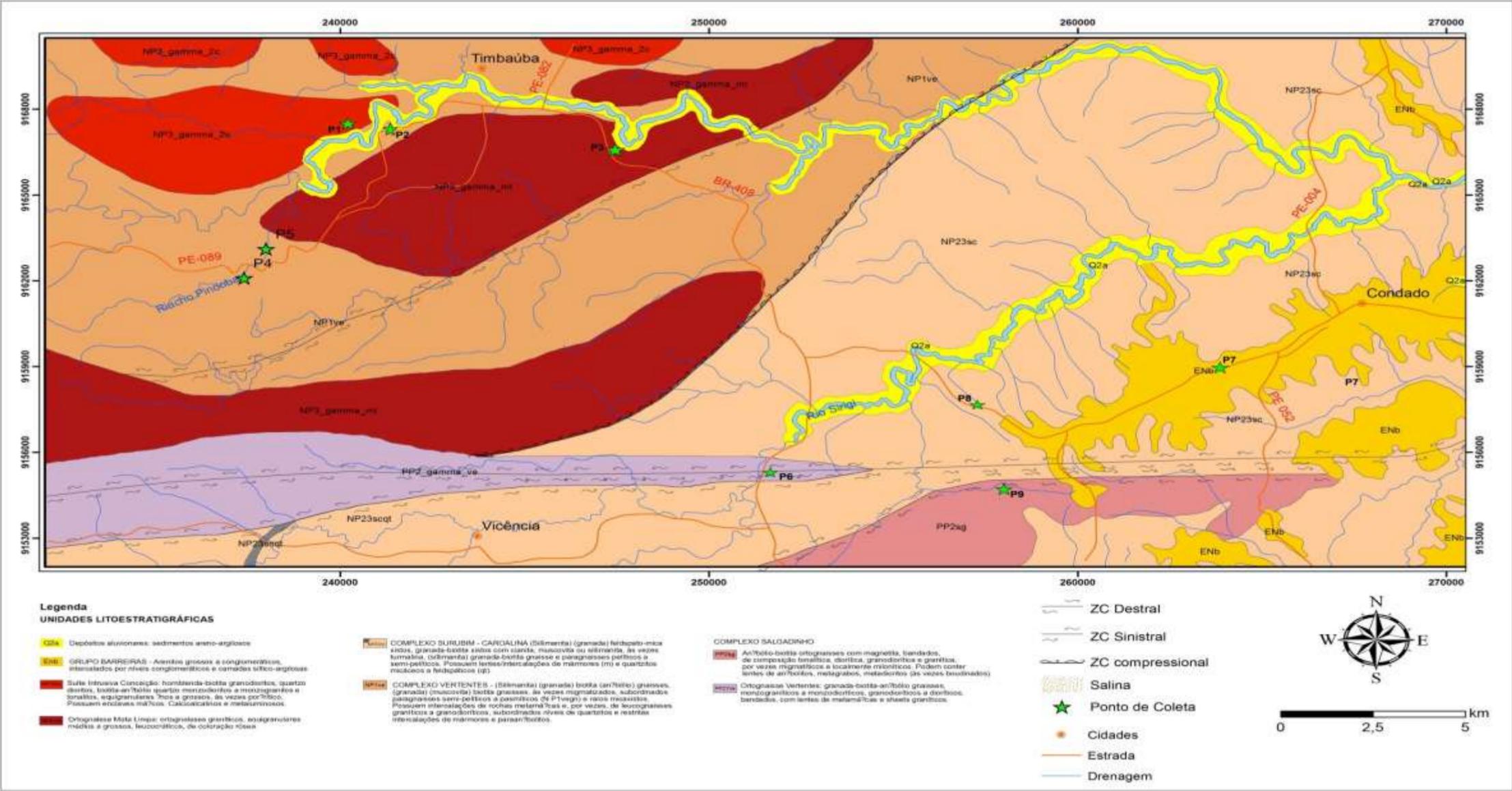
4.2 TRABALHOS DE CAMPO

O trabalho de campo foi dividido em duas etapas, coleta de amostras de rochas em afloramentos à montante e nas proximidades do Sistema Estuarino Goiana/Megaó e coleta de sedimentos de fundo/testemunho.

Para a coleta das amostras de rochas, do embasamento e da Formação Barreiras, localizadas à montante e nas proximidades do Sistema Estuarino Goiana/Megaó, foram previamente selecionados afloramentos representativos dessa geologia (tabela 05 e figura 07). Para esta etapa, foram realizadas 5 campanhas de coleta.

A coleta dos testemunhos ao longo do Sistema Estuarino Goiana/Megaó foi realizada em 11/12/2014, onde foram selecionadas 04 estações (Figura 08 e Anexo 01). Esta etapa foi realizada durante a maré baixa, cada ponto foi selecionado com uma determinada equidistância (para uma boa representação dos sedimentos deste Sistema) e de acordo com exposição de bancos de areia no momento da coleta. Foi utilizada uma embarcação motorizada devidamente equipada, para amostragem de testemunhos, um testemunhador (Figura 09) com cerca de 1 metro de comprimento em tubo de PVC com 76,2 mm de diâmetro; (Honorato, 2002).

Figura 07: Pontos de coleta de amostras de rocha em afloramentos a montante da bacia do Sistema Estuarino Goiana/Megaó.

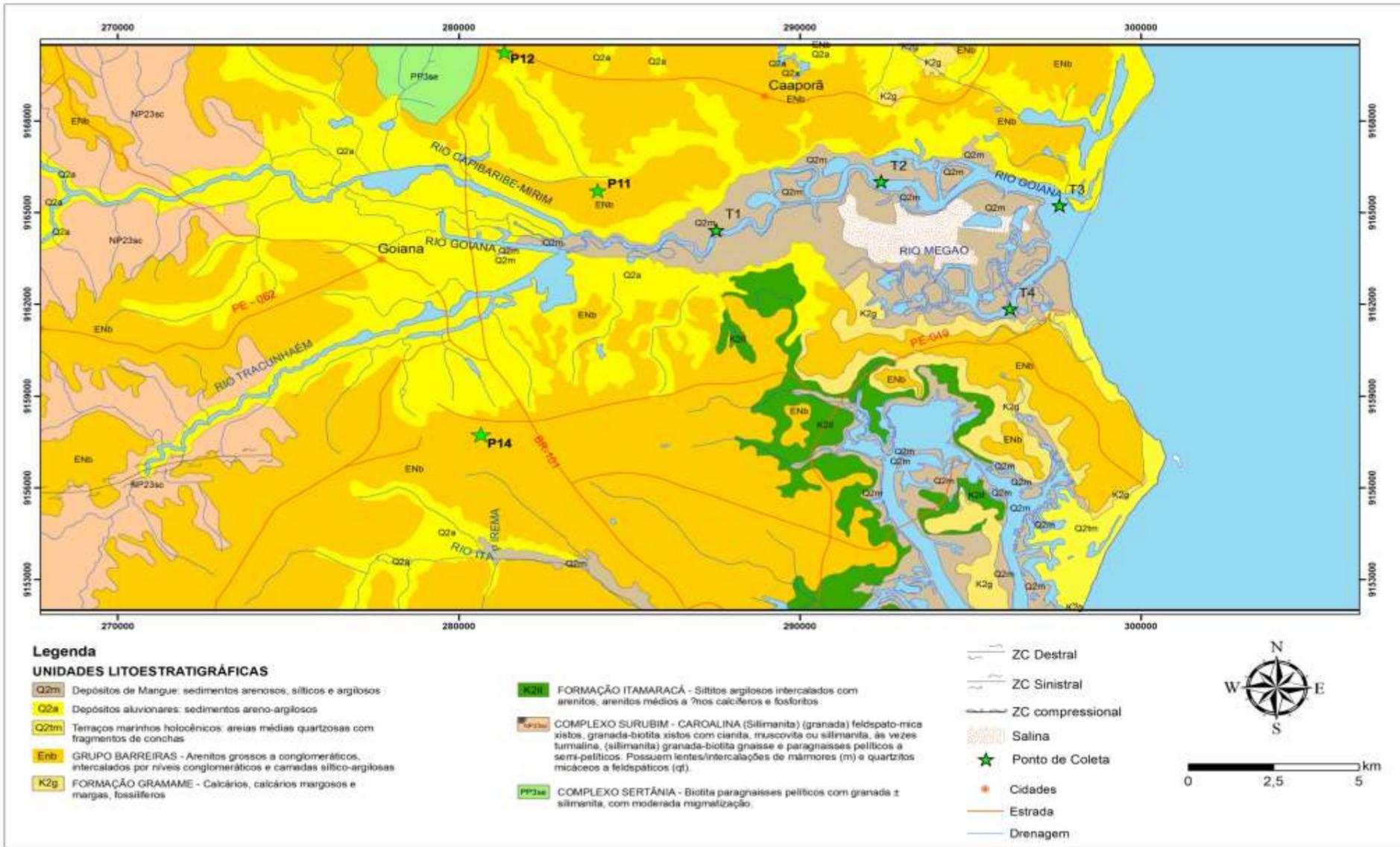


Fonte: Modificado de CPRM, 2016.

Tabela 05: Dados dos afloramentos onde foram coletadas as amostras representativas do embasamento e da Formação Barreiras.

PONTOS	COORDENADAS (UTM)	ROCHA	LITOLOGIAS
P1	0241307 9167274	Gnaisse	Complexo Vertentes
P2	241085 9168418	Xisto psamítico	Complexo Vertentes
P3	0247726 9166204	Gnaisse Bandado	Ortognaisse Mata Limpa
P4	237398 9162110	Ortognaisse	Complexo Vertentes
P5	2373994 9163125	Gnaisse	Complexo Vertentes
P6	251253 9155638	Dique de composição granítica	Complexo Salgadinho (Ortognaisse Vertentes)
P7	263200 915900	Arenito	Formação Barreiras
P8	257288 9157580	Lente de quartzito	Complexo Surubim
P9	259020 9154803	gnaisse bandado, milonitizado	Complexo Salgadinho (Anfibólio-Biotita)
P10	279043 9170137		Não houve coleta, por não encontrar afloramento no campo
P11	280445 9166717	Arenito	Formação Barreiras
P12	280195 9174767	Arenito	Formação Barreiras
P13	288227 9164550		Não houve coleta, por não encontrar afloramento no campo
P14	280823 9156678	Arenito	Formação Barreiras

Figura 08: Localização das estações de coleta de testemunhos no Sistema Estuarino Goiana/Megaó e amostras da Formação Barreira ao longo do Sistema
 Legenda: T – amostras de testemunhos,
 P – Pontos de coleta de rochas.



. Fonte: (Modificado de CPRH, 2005).

Figura 09: Coleta de testemunhos ao longo do Sistema Estuarino Goiana-Megaó.



Foto: Lara Quinamo, 2014.

4.3 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Em laboratório foram analisadas amostras de fundo/testemunhos, amostras superficiais de fundo e amostras de rochas.

4.3.1 Amostras de rochas

Para se inferir a proveniência dos sedimentos estudados, os minerais identificados nas amostras de sedimentos do rio foram comparados com os minerais de rochas (potenciais fontes) coletadas em afloramentos do embasamento cristalino e da Formação Barreiras à montante do Sistema Estuarino Goiana/Megaó e afluentes citados (Figuras 10 a 20). As amostras coletadas do embasamento foram retiradas de diferentes litologias: Complexo Vertentes, Complexo Salgadinho, Complexo Surubim e Ortognaisse Mata Limpa, (Figura 09). Além das amostras analisadas, foi levado em consideração dados (mineralogia descrita) de mapa geológico da área (CPRM, 2010).

4.3.1.1 Descrição de amostras de rochas

As amostras de rochas foram descritas e classificadas macroscopicamente com auxílio de lupa de mão. Após a descrição, foram britadas (britador de mandíbulas) a uma granulação inferior a 25,4 mm. Após britada, as amostras passaram por um processo rápido de moagem, para diminuição do tamanho das partículas.

Após este processo, foram fracionadas com auxílio de um agitador de peneiras, em frações granulométricas de (0,062 a 1mm). Em seguida, as frações de 0,125 e 0,062 mm foram analisadas em lupa binocular para separação de minerais pesados e por fim, alguns desses minerais e/ou fragmentos de rochas foram selecionados para análise no MEV (microscópio eletrônico de varredura), com espectrômetro de comprimento de onda (WDS) acoplado, no Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas (LDN) da UFPE para imageamento, e análise química pontual.

Figura 10: Trabalhos de campo (Ponto 1), afloramento de paragnaisse, Complexo Vertentes.



Foto: Lara Quinamo, 2015.

Figura 11: Trabalhos de campo (Ponto 02), afloramento de xisto psamítico, Complexo Vertentes.



Foto: Lara Quinamo, 2016.

Figura 12: Trabalhos de campo (Ponto 03), afloramento de Gnaiss bandado, Ortognaisse Mata Limpa.



Foto: Lara Quinamo, 2016.

Figura 13: Trabalhos de campo (Ponto 04), afloramento de ortognaisse no Complexo Vertentes. Observa-se planos de foliação proeminente da rocha, e veios pegmatíticos que cortam a mesma.



Foto: Lara Quinamo, 2015.

Figura 14: Trabalhos de campo (Ponto 05), afloramento de gnaiss do Complexo Vertentes.



Foto: Lara Quinamo, 2015.

Figura 15: Trabalhos de campo (Ponto 06), afloramento de dique de composição granítica, retrogranular fino, ao longo da foliação Ortognaisse Vertentes.



Foto: Lara Quinamo, 2017.

Figura 16: Trabalhos de campo (Ponto 07), afloramento de arenito com granulação média a grossa, constituído predominantemente por grãos de quartzo e óxidos hidróxidos de ferro da Formação Barreiras.



Foto: Lara Quinamo, 2017.

Figura 17: Trabalhos de Campo (Ponto 09), afloramento de gnaise bandado, do Complexo Salgadinho, milonitizado por estar localizado em zona de cisalhamento.



Foto: Lara Quinamo, 2017.

Figura 18: Trabalhos de campo (Ponto 11), afloramento de arenito grosso conglomerático da Formação Barreiras.



Foto: Lara Quinamo, 2017.

Figura 19: Trabalhos de Campo (Ponto 12), afloramento de arenito da Formação Barreiras.



Foto: Lara Quinamo, 2016.

Figura 20: Trabalhos de Campo (Ponto 14), afloramento de Arenitos grossos a conglomeráticos com intercalações de camadas siltico-argilosas da Formação Barreira.



(Foto: Lara Quinamo, 2017.)

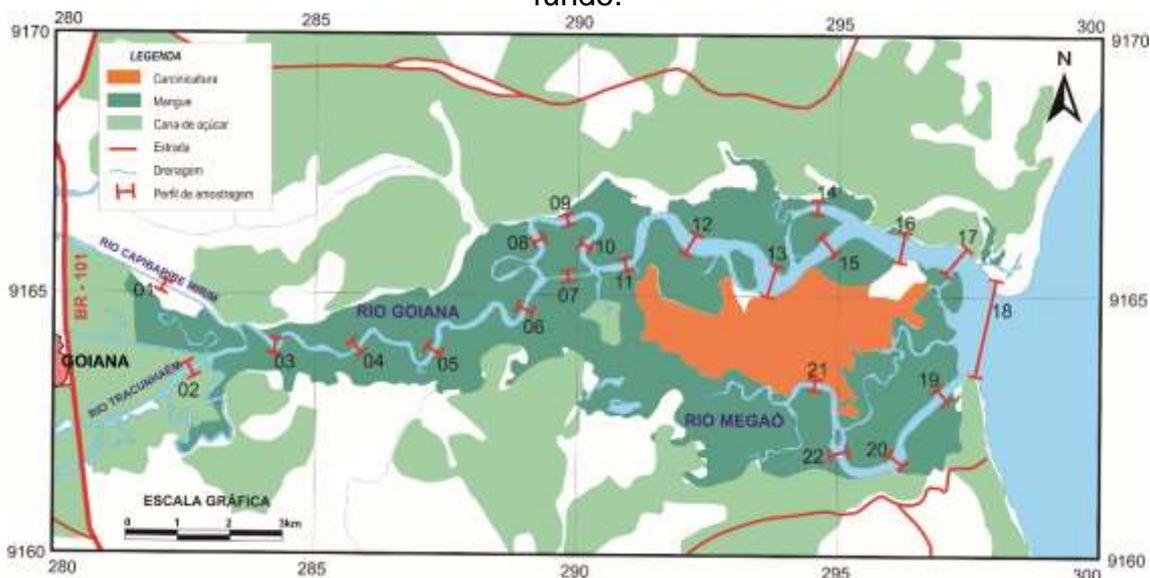
4.3.2 Amostras superficiais de fundo (Complexo Estuarino Goiana/Megaó)

As amostras superficiais de fundo foram coletadas por Garlipp et. al., (2010) e posteriormente cedidas para esta pesquisa, já devidamente separadas em frações granulométricas variando de 0,062 a 1mm.

Para a análise dos minerais pesados, por terem maior concentração deles, foram utilizadas as frações de 0,250, 0,125 e 0,062 mm (areia fina e areia muito fina).

Os minerais pesados foram separados em lupa binocular pelo método da comparação visual, com auxílio de guias para identificação de minerais em grão, sem concentração prévia de minerais pesados, o que tornou mais difícil a identificação, por conta da abundância relativamente maior de quartzo (não houve concentração prévia, pois, as amostras foram cedidas já fracionadas). No mapa abaixo (Figura 21), estão distribuídas as amostras ao longo do Rio Goiana/Megaó com seus respectivos pontos de localização.

Figura 21: Localização dos pontos de coleta das amostras superficiais de fundo.



4.3.3 Testemunhos

Após a coleta, os testemunhos foram encaminhados ao laboratório de Raios-x do Hospital Veterinário Escola do Departamento de Medicina Veterinária da UFRPE (HOVET/DMV/UFRPE), onde foram tiradas chapas de Raios-x dos mesmos para observação do comportamento de estruturas e concentração de matéria orgânica nos sedimentos em imagens de Raios-X.

Após este procedimento, os testemunhos foram abertos ao meio (da base ao topo) para posterior descrição.

Na descrição dos testemunhos foram observadas textura, coloração, composição dos grãos e estruturas sedimentares. A descrição foi realizada com auxílio de lupa de mão e tabelas de comparação visual (Pettijohn et al., 1977 *apud* Adams et al., 1984). A coloração dos grãos foi padronizada de acordo com guia de determinação de cor (Goddard et al. 1948). Cada testemunho foi fracionado em amostras, de acordo com a variação de características ao longo da profundidade.

Posteriormente, as amostras foram bateadas para concentração de minerais pesados, secadas em temperatura ambiente por 72 horas e encaminhadas para a separação dos minerais pesados.

4.4 ANÁLISE DOS MINERAIS PESADOS DE TESTEMUNHOS

Após as amostras prontas, todas receberam o mesmo tratamento para a separação e identificação dos minerais pesados.

Em cada concentrado, os minerais pesados foram analisados e separados com auxílio de lupa binocular e guias de determinação de minerais em grãos (Addad, 2001, Pereira. *Et. al.*, 2005). Foram separados 100 grãos de minerais pesados para a construção do percentual. Nesta etapa os minerais pesados foram separados por cor, forma e hábito.

Também foram observados os graus de arredondamento dos minerais, sendo utilizado o método da comparação visual com imagens tabeladas de (Pettijohn *et al.*, 1977 in Adams *et al.*, 1984)

4.5 IMAGEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA POR MICROANÁLISE PONTUAL POR MEV-WDS

A partir da identificação dos minerais pesados, foram selecionados grãos representativos de cada tipo de mineral para observações e imageamento (até 350.000 vezes) e análises químicas qualitativas pontuais (1-5 micrômetros) no microscópio eletrônico de varredura (MEV), com espectrômetro de comprimento de onda (WDS) acoplado, no Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas (LDN) da UFPE.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DESCRIÇÃO MINERALÓGICA E DE MINERAIS PESADOS DAS AMOSTRAS DE ROCHAS (POTENCIAIS FONTES DOS SEDIMENTOS)

A amostra P1 (Complexo Vertentes) (Figura 22), trata-se um gnaiss bandado, homogêneo, com presença de augens. Composição granodiorítica, muito rico em quartzos agregados e veios de quartzo. Em lupa binocular foram identificados biotita, hornblenda e zircão.

Figura 22: Amostra P1, gnaiss bandado, homogêneo, com presença de augens.



No ponto P2 (Complexo Vertentes) foram coletadas duas amostras, P2.1 e P2.2. A amostra P2.1 (Figura 23), trata-se de um gnaiss fino paraderivado, homogêneo. Composto principalmente por quartzo, feldspato e biotita. P2.1 em lupa binocular foram observados biotita, hornblenda e zircão. A amostra P2.2 (Figura 24), trata-se de Xisto psamítico (granulação areia), composto por moscovita e biotita com veios de quartzo e feldspato. Em lupa binocular o mineral pesado observado foi biotita (Figura 25).

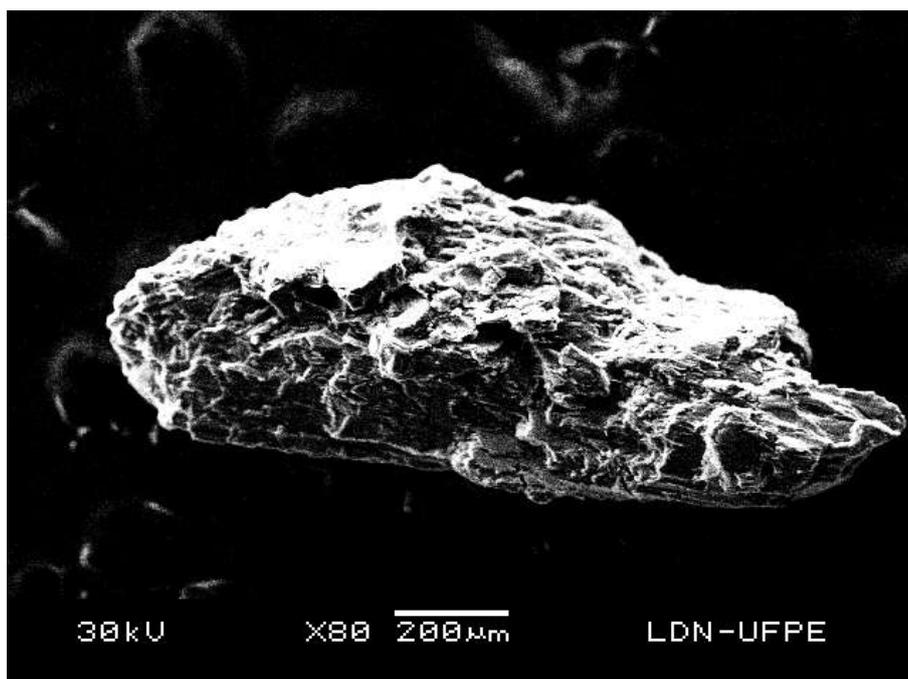
Figura 23: Gnaiss fino paraderivado, homogêneo. Composto principalmente por quartzo, feldspato e biotita. P2.1



Figura 24: Xisto psamítico, predominantemente composto por moscovita e biotita com veios de quartzo e feldspato (amostra P2.2).



Figura 25: Imagem do MEV de grão de hornblenda identificado na amostra P2.1.

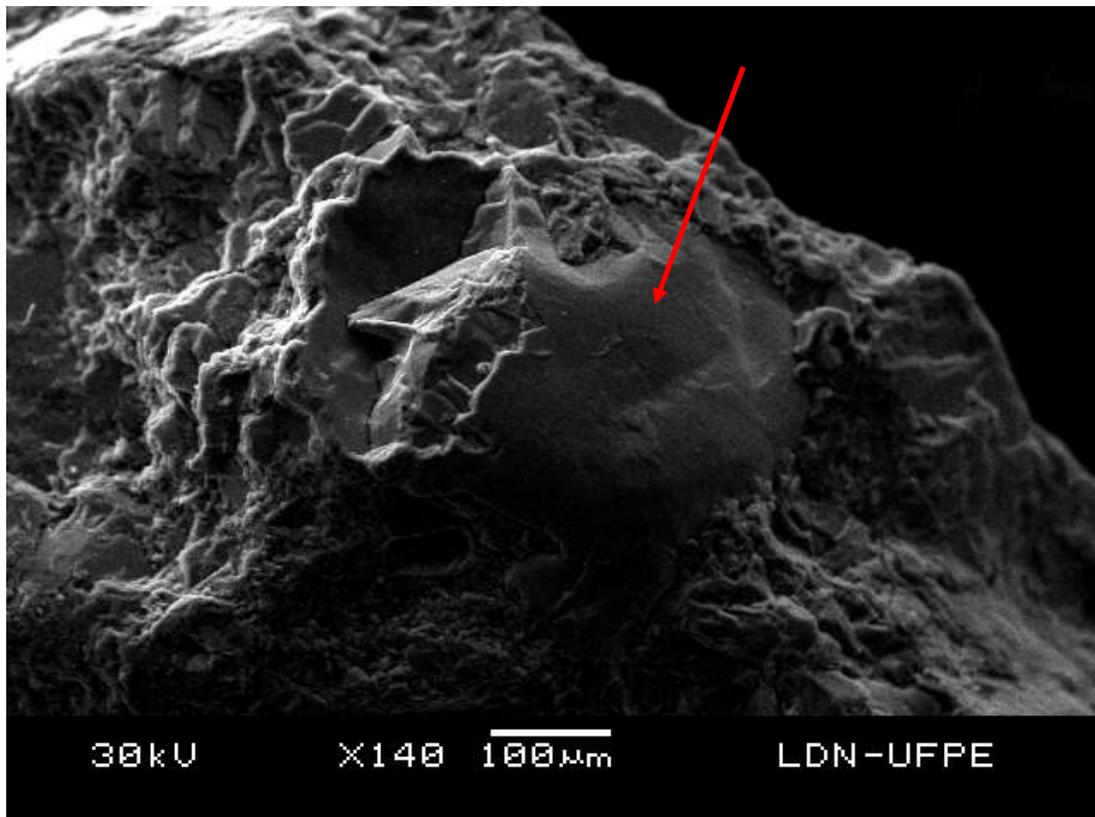


A amostra P3 (Ortognaise Mata Limpa) trata-se de um Gnaiss bandado (Figura 26), com bandas de até 1cm, contendo bandas claras (félsicas) e bandas escuras (máficas). Composto principalmente por quartzo, feldspato e biotita. Os minerais pesados identificados em lupa binocular foram biotita, hornblenda e titanita (Figura 27).

Figura 26: P3.2.1 Gnaiss bandado, com bandas de até 1cm (amostra P3).



Figura 27: Imagem do MEV de grão de titanita (seta vermelha) em fragmento de rocha identificado na amostra P3.



A amostra P4 (Complexo Vertentes) trata-se de um ortogneisse com composição monzogranítica (Figura 28). Os minerais identificados (macroscopicamente) foram quartzo, feldspato alcalino, biotita, anfibólios e plagioclásio. Com relação aos minerais pesados, em lupa binocular, foi possível identificar biotita, hornblenda, titanita, granada, epidoto e zircão (Figuras 29 e 30).

A amostra P5 (Complexo Vertentes) trata-se de um gnaisse com composição monzogranítica (Figura 31). Os minerais identificados (macroscopicamente) foram quartzo, feldspato, ilmenita, biotita, titanita, plagioclásio e anfibólios. Em relação aos minerais pesados, foram identificados em lupa binocular, ilmenita, biotita, titanita e epidoto (Figura 32).

A amostra P6 do Complexo Salgadinho (Figura 33) trata-se de um dique de composição granítica, retrogranular fino, composto principalmente por

quartzo e feldspato. Em lupa binocular foi possível identificar epidoto e estaurolita (Figuras 34 e 35).

Figura 28: Ortognaisse de composição monzogranítica, cortado por veio pegmatítico (Amostra P4).



Figura 29: Seta vermelha indica grão de Titanita em fragmento de rocha (amostra P4).

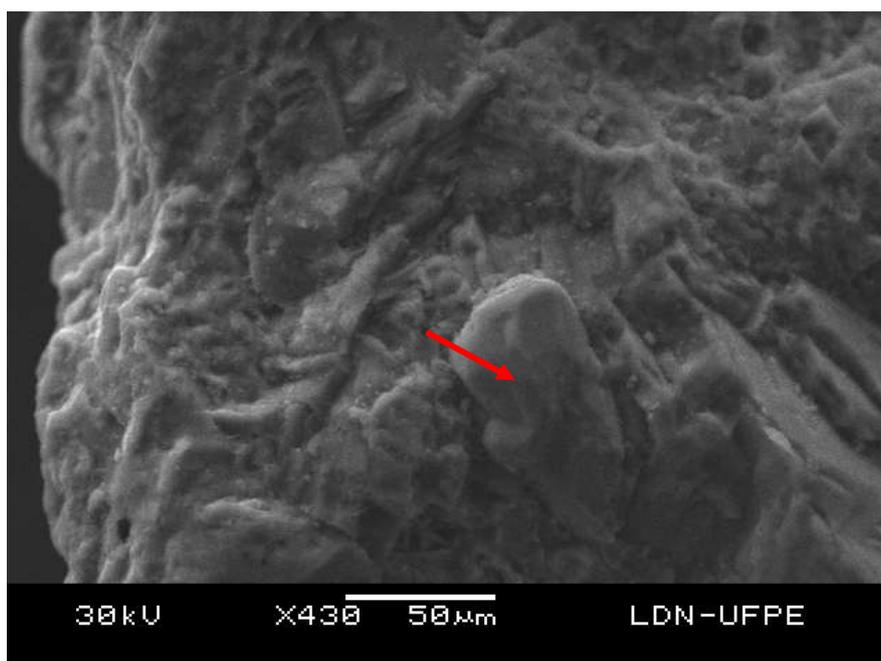


Figura 30: Imagens de minerais pesados em fragmentos de rochas da amostra P4 no MEV; (A) hornblenda de coloração verde; (B) hornblenda de coloração verde; (C) fragmento de titanita de coloração castanha; (D) grãos de Zircão euédrico com terminação pouco arredondada em fragmento de rocha; (E) grãos de zircão em fragmento de rocha; (F) grão de granada de coloração vermelho/alaranjado em fragmento de rocha.

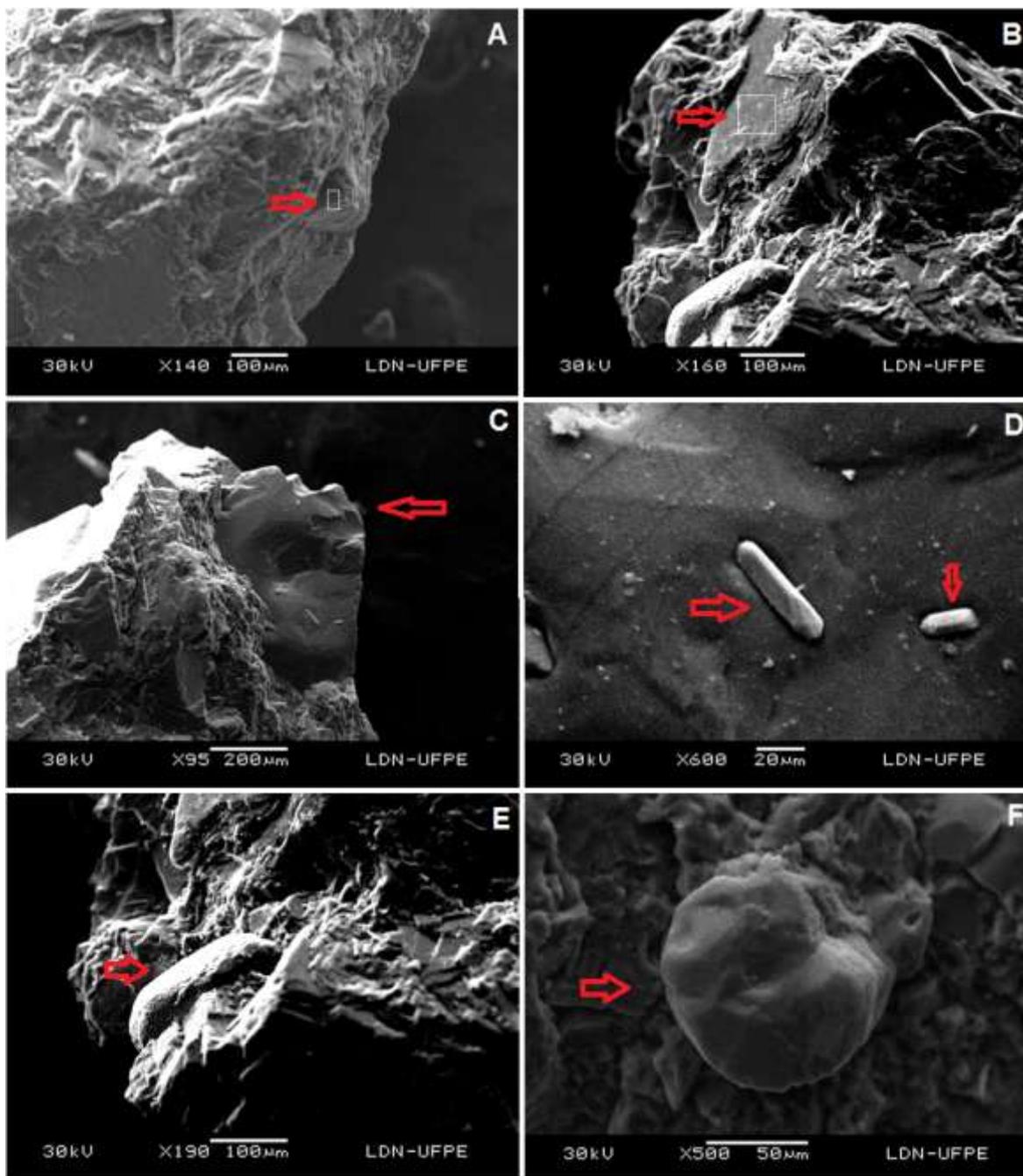


Figura 31: Amostra P5, gnaiss com composição monzogranítica.



Figura 32: Minerais pesados identificados em lupa binocular na amostra P5.

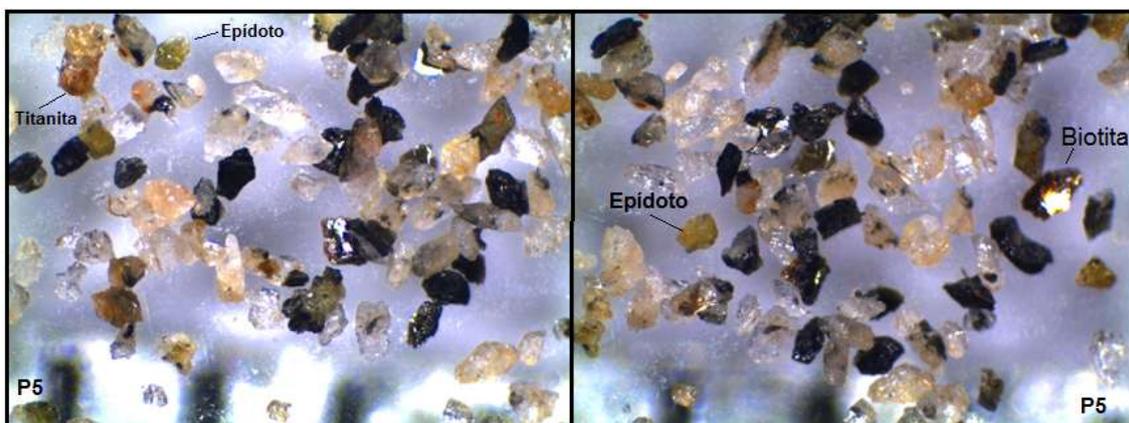


Figura 33: Dique de composição granítica retrogranular fino (amostra P6).



Figura 34: Imagem do Mev de grão de Epidoto (amostra P6).

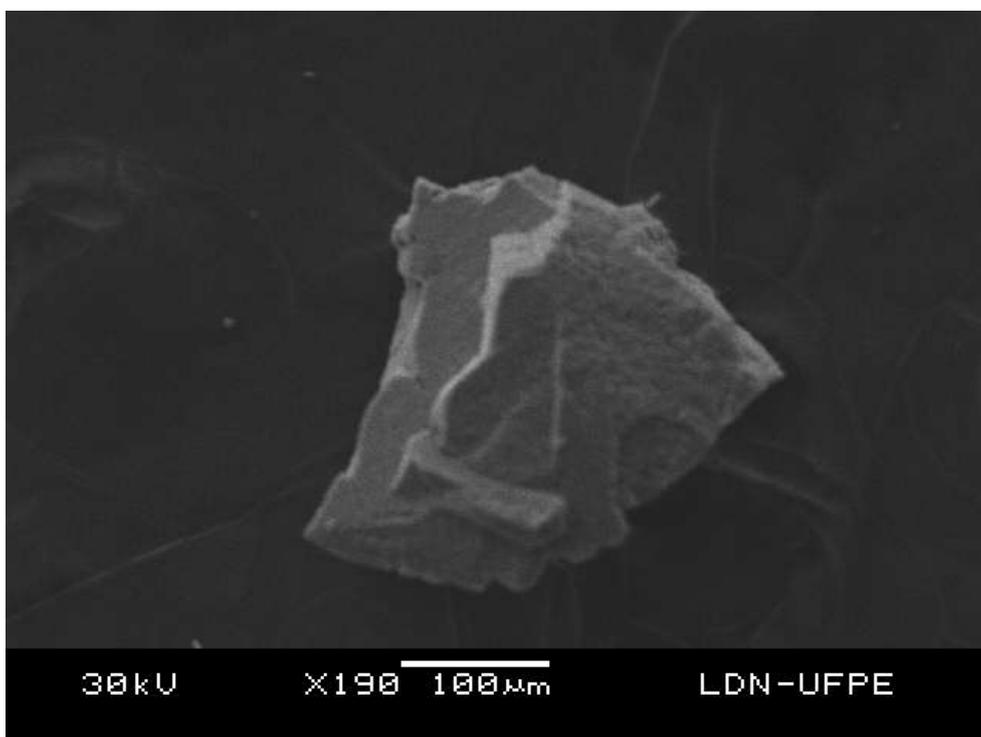
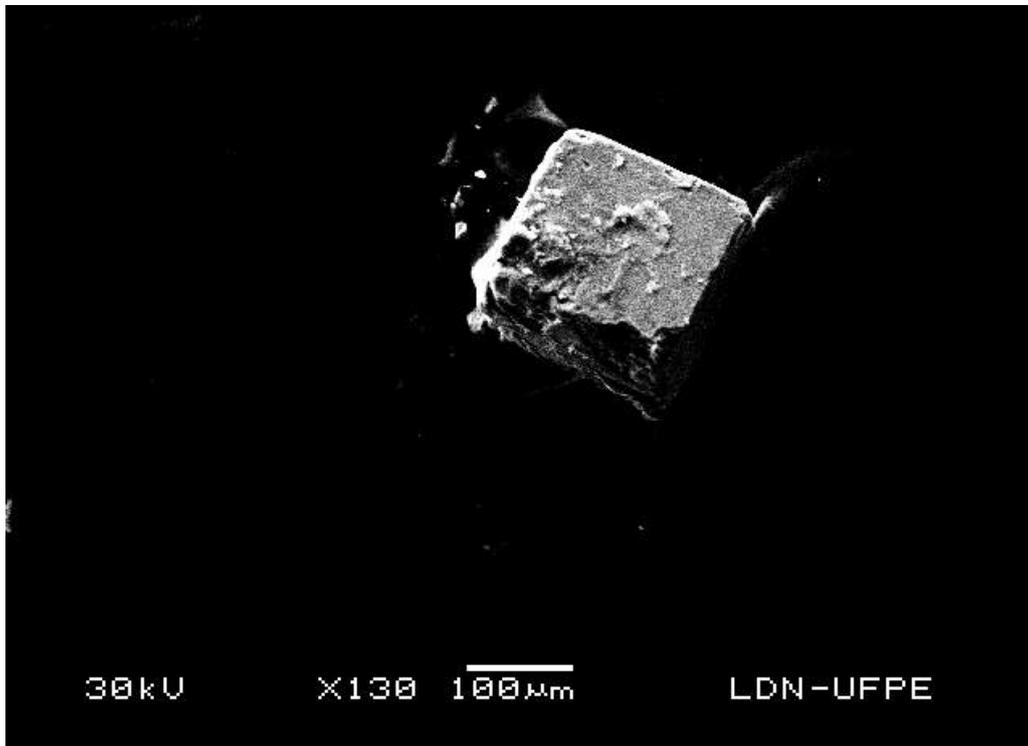


Figura 35: Imagem do MEV de grão de estauroлита retirada de fragmento de rocha (amostra P6).



A amostra P7 trata-se de um arenito com granulação média a grossa, sua coloração varia de vermelho muito escuro (5R 2/6) à vermelho moderado (5R 4/6) e em alguns pontos laranja amarelado escuro (10 YR 6/6) à amarelo pálido (1Y R 8/6) (Figura 36). É constituído, predominantemente por grãos de quartzo e óxidos hidróxidos de ferro. Os minerais pesados identificados nesta amostra foram ilmenita, zircão epidoto, turmalina e cianita.

A amostra P8 (Figura 37) trata-se de uma lente de quartzito dentro do Complexo Surubim. Em lupa binocular foram identificados, em menores proporções, os minerais moscovita e biotita.

A amostra P9 (Complexo Salgadinho) trata-se de um gnaiss bandado, milonitizado por estar localizado em zona de cisalhamento (Figura 38). Composto por biotita, magnetita e lentes de anfibólio. Os minerais identificados em lupa binocular foram hornblenda, granada, epidoto, biotita e zircão.

Figura 36: Arenito de granulação média a grossa (amostra P7).



Figura 37: Lente de quartzito (amostra P8).

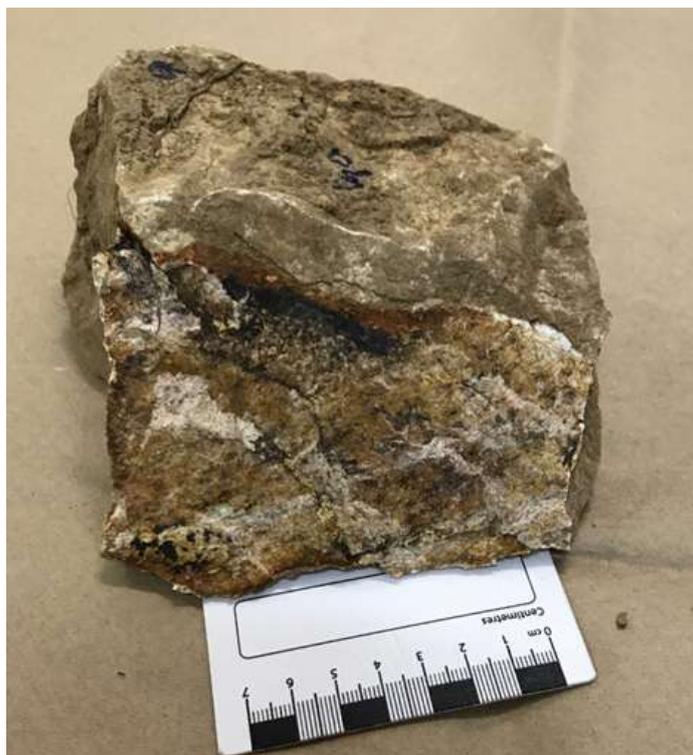


Figura 38: gnaiss bandado, milonitizado (amostra P9).



Os pontos P11, P12 e P14 são amostras de arenito da Formação Barreiras, o mineral mais abundante dessas amostras foi o quartzo, como acessórios, os minerais pesados identificados foram ilmenita, cianita, zircão, turmalina, epidoto, espodumênio, rutilo e granada.

As ilmenitas identificadas são de cor preta, brilho metálico, forma não definida, com alto grau de arredondamento.

Os grãos de cianita, apresentam-se predominantemente incolores, em menor proporção grãos azulados e avermelhados, brilho vítreo, formas de tabletes achatados, alguns mais alongados e outros mais curtos.

Os grãos de zircão apresentam aspecto brilhoso, incolores, róseos, creme e também levemente acinzentados, em prismas curtos ou longos, bipiramidais, euedrais ou subeudrais. Muitos grãos se apresentaram com alto grau de arredondamento e extremidades quebradas.

As turmalinas apresentaram coloração variando de castanho a castanho esverdeado, brilho vítreo, hábito prismático trigonal, prismas alongados e prismas achatados, alguns se apresentaram quebrados na extremidade, outros com alto grau de arredondamento.

Os grãos de epidoto, apresentaram coloração verde amarelado e amarelo, com a predominância de grãos subarredondados a arredondados.

O espodumênio ocorre na cor branca com aspecto leitoso, em grãos prismáticos achatados com faces estriadas verticalmente.

Os grãos de rutilo apresentaram cor castanho, em forma prismática.

A granada apresenta-se em grãos brilhosos, nas colorações laranja e vermelho puxando para o tom vinho em forma de dodecaedro, arredondadas e alguns grãos fraturados.

5.2 AMOSTRAS SUPERFICIAIS DE FUNDO

A composição das amostras é de aproximadamente 90% grãos de quartzo, dentre os 10% restantes estão os bioclastos (variando de 8 a 9%) e entre 1 e 2 % apenas, os minerais pesados. Por este motivo os resultados foram explorados em caráter qualitativo, apresentando-se os minerais identificados em cada amostra (Tabela 06) sem seu percentual de concentração.

A assembleia de minerais pesados identificados apresenta domínio de minerais opacos em relação aos transparentes, sendo a ilmenita o mineral mais abundante. Os minerais pesados transparentes encontrados foram: Biotita, Cianita, Epidoto, Espodumênio, Granada, Hornblenda, Muscovita, Rutilo, Silimanita, Turmalina e Zircão.

Tabela 06: Minerais identificados nas amostras de sedimentos superficiais de fundo, investigados nesta pesquisa. Amostras cedidas por Garlipp,(2010).

Legenda: AM – amostras, Ep – epidoto, Esp – espodumênio, Gr – Granada, Hbl – hornblenda, Ilm – ilmenita, Ky – cianita, MC – Micas (Biotita e Muscovita), Rt – rutilo, Sil – silimanita, Tur – turmalina, Zrn – zircão, A.N.C. - Amostra Não Cedida, N.O.- Não Observado.

AM	Ep	Esp	Gr	Hbl	Ilm	Ky	MC	Rt	Sil	Tur	Zrn
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	N.O.	X	X	N.O.	X	X	N.O.	N.O.	X
3	X	X	N.O.	X	X	N.O.	X	N.O.	N.O.	X	X
4	X	X	N.O.	X	X	X	X	N.O.	X	X	X
5	X	X	X	N.O.	X	N.O.	X	N.O.	N.O.	X	N.O.
6	X	N.O.	X	N.O.	X	X	X	X	X	X	X
7	X	X	X	X	X	X	X	X	N.O.	X	X
8	X	X	N.O.	X	X	X	X	N.O.	N.O.	N.O.	X
9	N.O.	N.O.	N.O.	X	X	X	X	N.O.	X	X	X
10	X	X	N.O.	X	X	X	X	N.O.	N.O.	X	X
11	X	N.O.	N.O.	N.O.	X	X	X	N.O.	X	X	X
12	X	X	N.O.	X	X	X	X	N.O.	N.O.	N.O.	X
13	X	X	N.O.	X	X	X	X	N.O.	N.O.	X	X
14	A.N.C.										
15	X	X	N.O.	X	X	N.O.	X	N.O.	N.O.	N.O.	X
16	X	X	N.O.	X	X	X	X	N.O.	N.O.	X	X
AM	Ep	Esp	Gr	Hbl	Ilm	Ky	MC	Rt	Sil	Tur	Zrn
17	A.N.C.										
18D	X	N.O.	N.O.	N.O.	X	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.
18E	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	X	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.
19	X	N.O.	N.O.	X	X	X	X	X	N.O.	X	X
20	X	X	N.O.	X	X	N.O.	X	N.O.	N.O.	X	X
21	N.O.	X	N.O.	X	X	N.O.	X	N.O.	N.O.	N.O.	X

5.3 AMOSTRAS DE SEDIMENTOS DE TESTEMUNHO

Testemunho 01

Este testemunho possui aproximadamente 58 cm (da base ao topo) de material coletado e foi dividido em 5 amostras (níveis).

O nível 1 trata-se de areia grossa a muito grossa, com poucos seixos pobremente selecionada, a coloração predominante é marrom amarelado pálido (10 YR 6/2). É composta predominantemente por grãos de quartzo subarredondados, restos vegetais, biotita e fragmentos de rocha. Foi observada uma fina lâmina escura de matéria orgânica (carbonizada) e fragmentos de material carbonizado (Tabela 07 e Figura 39). Esta lâmina escura pode ser facilmente observada na radiografia, como também, a presença de pequenos pontos brancos referentes à presença de bioclastos (figura 39, linha 1).

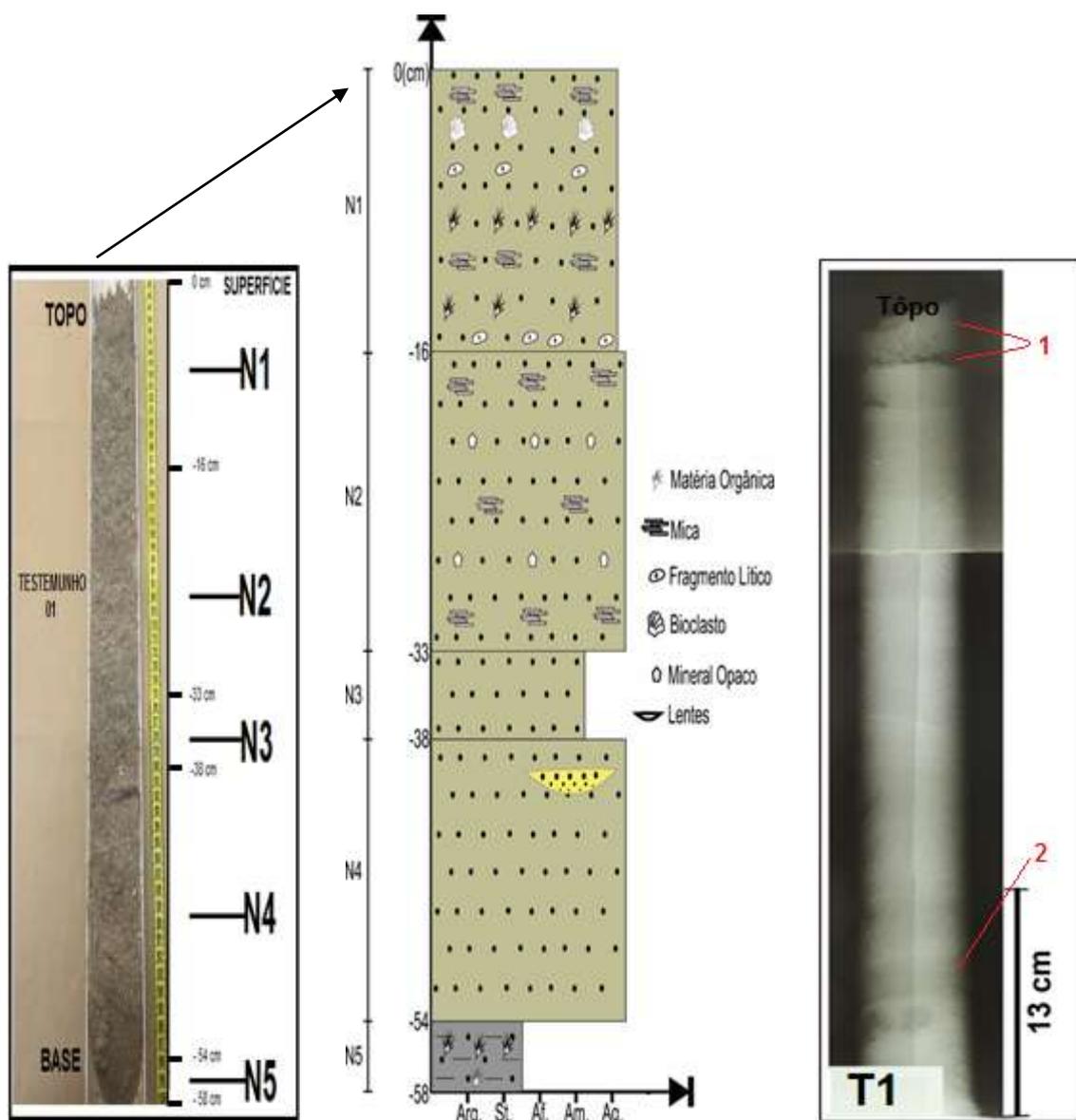
O nível 2 é formado por areia com granulação variando entre grossa e muito grossa, coloração marrom amarelo moderado (10 YR 5/4), pobremente selecionados. Composto predominantemente por grãos de quartzo sobarredondados. Com relação à composição, além do quartzo foi observada a presença de mica e minerais escuros (não identificados com auxílio de lupa de mão).

Tabela 07: Granulometria, composição, arredondamento e esfericidade dos grãos descritos macroscopicamente do testemunho 1. Legenda: L – lama, AMF – areia muito fina, AF – areia fina, AM – areia média, AG – areia grossa, AMG – areia muito grossa, C – cascalho, S – seixo, QZ – quartzo, MC – Mica, RV – restos de vegetais, MO – matéria orgânica, BC – bioclastos, SA – subarredondado, San – subanguloso. ARRED. – arredondamento, ESFE. – esfericidade, A – alta, M – média, B – baixa.

AM	GRANULOMETRIA								COMPOSIÇÃO				ARRED.			ESFE.		
	L	AMF	AF	AM	AG	AMG	C	S	QZ	MC	RV	MO	BC	SA	San	A	M	B
T1N1					X	X		X	X	X	X	X		X		X		
T1N2					X	X			X	X				X				X
T1N3						X		X	X					X		X		
T1N4						X		X	X					X	X		X	X
T1N5	X		X	X							X	X					X	

O nível 3 é composto por areia média a grossa de cor marrom amarelado moderado (10 YR 5/4), pobremente selecionados, subarredondados.

Figura 39: Fotografia do testemunho e de raio-x do testemunho, com desenho esquemático contendo a descrição detalhada dos sedimentos do Testemunho 01. Legenda: N1- nível 01; N2- nível 2; N3- nível 3; N4- nível 04; N5- nível 5;. Arg. – argila; St. – silte; Af. – areia fina; Am. – areia média; Ag.- areia grossa. 1 – linha indicando lâmina escura e pequenos pontos brancos referentes à presença de bioclastos no nível 1. 2 – linha indicando lâmina composta por grãos pobremente selecionados no nível 4.



O nível 4 é composto por grãos de quartzo com granulação areia muito grossa e presença de poucos seixos e coloração marrom amarelado pálido (10 YR 6/2). O grau de arredondamento variou entre subangulosos a subarredondados e esfericidade média. Foi observada a presença de uma

lâmina composta por grãos pobremente selecionados, variando de areia muito fina a muito grossa com presença de seixos e coloração laranja escuro amarelado (10 YR 6/6). Na radiografia esta lâmina ocorre com coloração escura (figura 39, linha 2).

A granulação do nível 5 variou entre silte e areia média (quartzo), com predominância de silte e areia fina, com relação a cor, se mostrou mais escuro em relação aos demais, puxando para o tom marrom escuro amarelado (10YR 2/2), grãos moderadamente selecionados. Este nível é rico em matéria orgânica, pedaços de galhos de plantas e folhas.

Testemunho 02

Este testemunho tem aproximadamente 83 cm de material coletado (da base ao topo) e foi dividido em 6 amostras (níveis) (Figura 40 e Tabela 08).

O nível 01 é constituído por areia fina a muito fina, de coloração cinza muito claro (N8). Moderadamente selecionados, com grãos subarredondados, baixa esfericidade, composto por quartzo e biotita, matéria orgânica, pequenos fragmentos de conchas, pedaços de folhas e galhos. Os bioclastos não foram visualizados na imagem da radiografia, porém, ficou evidente as lâminas e pedaços de matéria orgânica na porção mais escura (figura 40, linha 1).

O nível 02 é composto, em sua maior parte, por areia fina de coloração cinza muito claro à cinza claro (N8 à N7), grãos bem selecionados e subarredondados. Composta de quartzo e biotita, laminações de areia muito fina e laminação com matéria orgânica, pequenos fragmentos de conchas e minúsculas conchas. A laminação de matéria orgânica se mostra em destaque na imagem da radiografia, evidenciada pelo traço mais escuro (figura 40, linha 2).

Nível 03 é formado por areia fina, coloração predominante cinza claro (5 Y 7/2). Grãos bem selecionados, subarredondados com baixa esfericidade, composto predominantemente por quartzo e moscovita. Foi observada uma larga lâmina de matéria orgânica, alguns outros pontos com matéria orgânica fora da laminação e uma espécie de “nódulo” formado por silte. Este nível de matéria orgânica apresenta-se destacado por uma mancha escura na radiografia (figura 40, linha 3).

O nível 4 é constituído por areia fina e areia média, com coloração cinza muito claro e alguns pontos amarelados (*N8, 10 YR 8/6*), pobremente seleccionados, subarredondados e baixa esfericidade. Foi possível visualizar a presença de quartzo e moscovita, de pequenos nódulos compostos de silte, nódulo de matéria carbonizada, pedaços de matéria orgânica e fragmentos de conchas.

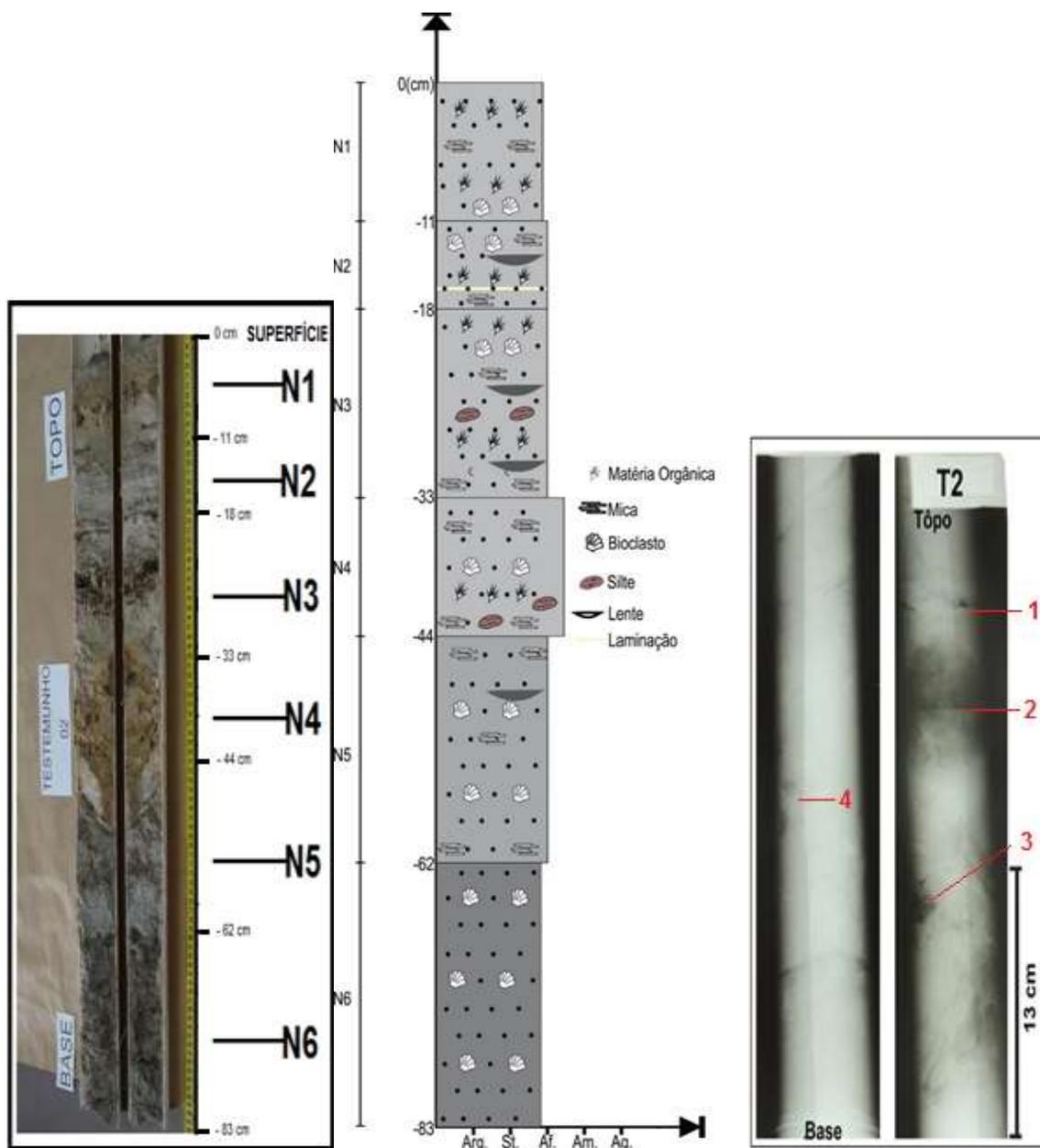
O nível 5 é composto por areia fina, coloração variando de cinza claro à médio (*N7, N6*), subarredondados e baixa esfericidade. Foi observada a presença de quartzo, moscovita, fragmentos de conchas, material carbonizado e uma fina lente de matéria orgânica. Esta lente de matéria orgânica pode ser observada na radiografia, representada por uma fina camada mais escura na imagem (figura 40, linha 4).

O nível 6 é composto predominantemente por grãos de quartzo, com granulação fina e em menor proporção silte, coloração variando de cinza médio à cinza escuro esverdeado (*N6, 5 G 4/1*), subarredondados e baixa esfericidade. Foi observada a presença de matéria orgânica, pequenos nódulos de material carbonizado e lentes compostas por fragmentos de conchas.

Tabela 08: Granulometria, composição, arredondamento e esfericidade dos grãos descritos macroscopicamente do testemunho 2. Legenda: L – lama, AMF – areia muito fina, AF – areia fina, AM – areia média, AG – areia grossa, AMG – areia muito grossa, C – cascalho, S – seixo, QZ – quartzo, MC – Mica, RV – restos de vegetais, MO – matéria orgânica, BC – bioclastos, SA – subarredondado, San – subanguloso. ARRED. – arredondamento, ESFE. – esfericidade, A – alta, M – média, B – baixa.

AM	GRANULOMETRIA									COMPOSIÇÃO					ARRED.		ESFE.		
	L	AMF	AF	AM	AG	AMG	C	S	QZ	MC	RV	MO	BC	SA	San	A	M	B	
T2N1		X	X						X	X	X	X	X	X				X	
T2N2			X						X	X		X	X	X				X	
T2N3			X						X	X		X	X	X				X	
T2N4			X						X	X		X	X	X				X	
T2N5			X						X	X		X	X	X				X	
T2N6	X		X						X			X	X	X				X	

Figura 40: Fotografia com desenho esquemático contendo a descrição detalhada dos sedimentos do Testemunho 02. Legenda: N1- nível 01; N2- nível 2; N3- nível 3; N4- nível 04; N5- nível 5; N6- nível 6;. Arg. – argila; St. – silte; Af. – areia fina; Am. – areia média; Ag.- areia grossa. 1- linha indica lâminas e pedaços de matéria orgânica na porção mais escura no nível 1; 2 – linha indica laminação de matéria orgânica evidenciada pelo traço mais escuro no nível 2; 3 – linha indica nível de matéria orgânica destacado por uma mancha escura; 4- linha indica lente de matéria orgânica.



Testemunho 03

O testemunho 3 possui 64,5 cm de material coletado da base ao topo e foi dividido em 4 amostras (níveis) (Tabela 09 e Figura 41).

O nível 1 deste testemunho é composto de grãos de areia grossa a areia média, a coloração dominante é cinza amarelado (5 Y 8/1), pobremente

selecionados, subangulosos e baixa esfericidade. Foi observado a presença de quartzo, micas, bioclastos (fragmentos de conchas e pequenas conchas), assim como, a presença de uma lâmina de material com coloração mais escura de composição lama. Na imagem de radiografia deste testemunho, foi possível observar alguns pontos mais escuros, referente à presença de fragmentos de conchas (figura 41, linha 1).

O nível 2 é composto de areia média a areia grossa e coloração laranja acinzentada (grayish Orange), pobremente selecionados, subarredondados e baixa esfericidade. Foi observado a presença de quartzo, fragmentos de conchas alinhadas lateralmente e uma fina lente composta por areia média. Na radiografia essas últimas características se apresentam bem evidentes, pode ser observado um fragmento de concha e ainda a lâmina em destaque de composição diferenciada em relação aos demais grãos (figura 41, linha 2).

O nível 3 é composto de areia média a areia grossa e coloração amarelo escuro (5 Y 6/4). Apresentando grãos subarredondados com baixa esfericidade. Foi observado grãos de quartzo, bioclastos (fragmentos de concha e pequenos foraminíferos) alinhados lateralmente e uma pequena lente de areia fina e muito fina.

O nível 4 é composto de areia fina e cor cinza muito claro (N 8), bem selecionados, subarredondados, com baixa esfericidade. Foi observada a presença de grãos de quartzo, lentes compostas por bioclastos e areia muito fina, assim como a presença de bioclastos alinhados. Essas lentes de material mais fino foram observadas na radiografia em um tom mais escuro, enquanto o alinhamento de bioclastos está representado pela linha mais clara (figura 41, linha 3).

Figura 41: Fotografia com desenho esquemático contendo a descrição detalhada dos sedimentos do Testemunho 03. Legenda: N1- nível 01; N2- nível 2; N3- nível 3; N4- nível 04; Arg. – argila; St. – silte; Af. – areia fina; Am. – areia média; Ag.- areia grossa. 1- linha indica pontos mais escuros, referente à presença de fragmentos de conchas no nível 1; 2 – linha indica fragmento de concha e lâmina em destaque de granulação diferenciada; 3 – linha indica lentes de material mais fino em tom mais escuro e alinhamento de bioclastos representado pela linha mais clara no nível 4.

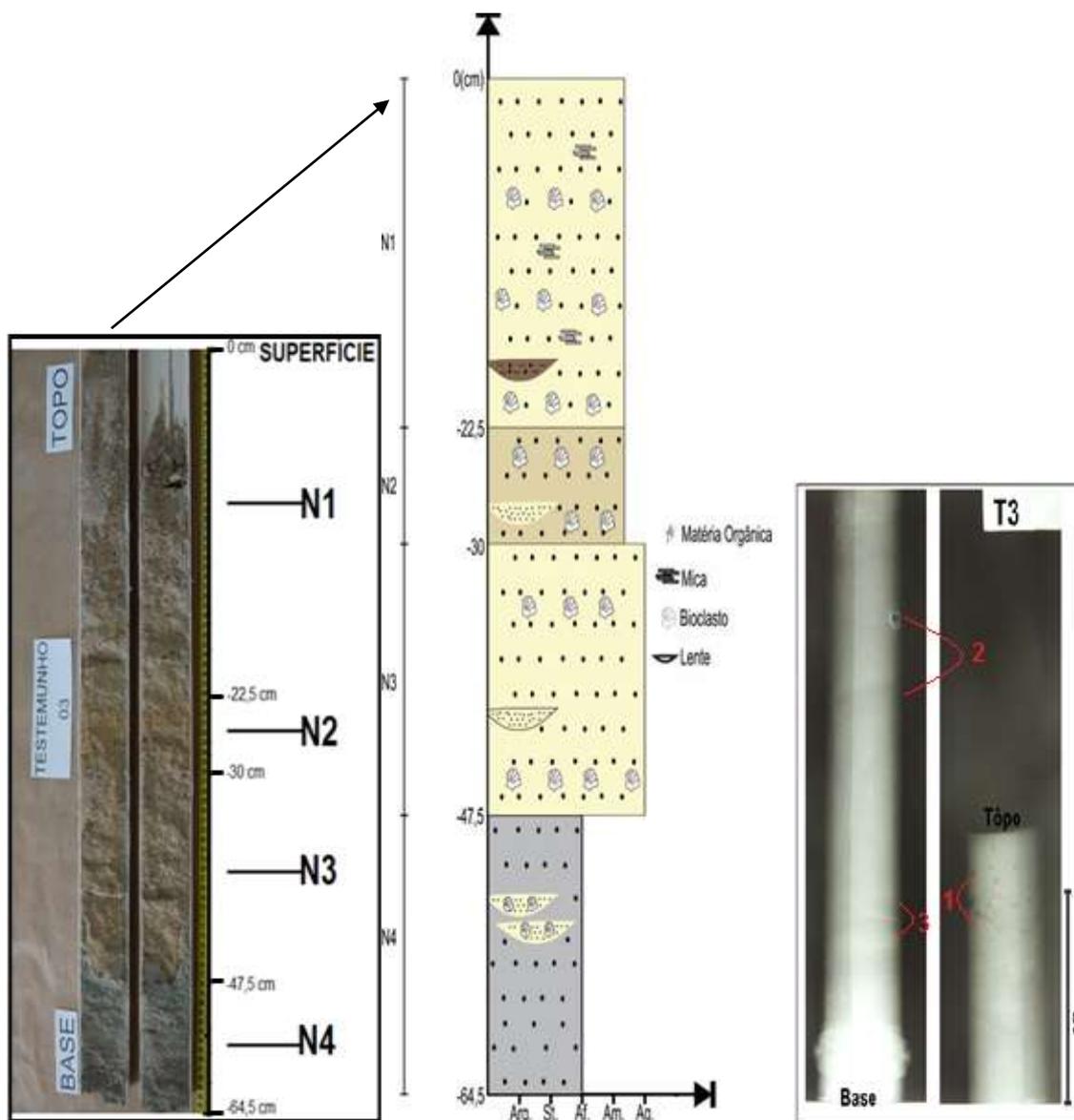


Tabela 09: Granulometria, composição, arredondamento e esfericidade dos grãos descritos macroscopicamente do testemunho 3. Legenda: L – lama, AMF – areia muito fina, AF – areia fina, AM – areia média, AG – areia grossa, AMG – areia muito grossa, C – cascalho, S – seixo, QZ – quartzo, MC – Mica, RV – restos de vegetais, MO – matéria orgânica, BC – bioclastos, SA – subarredondado, San – subanguloso. ARRED. – arredondamento, ESFE. – esfericidade, A – alta, M – média, B – baixa.

GRANULOMETRIA									COMPOSIÇÃO					ARRED.			ESFE.		
AM	L	AMF	AF	AM	AG	AMG	C	S	QZ	MC	RV	MO	BC	SA	San	A	M	B	
T2N1				X	X				X	X			X		X			X	
T2N2				X	X				X				X	X				X	
T2N3				X	X				X				X	X				X	
T2N4		X	X						X				X	X				X	

Testemunho 04

O testemunho 4 tem 59 cm de material coletado (da base ao topo) e foi dividido em 4 amostras (Tabela 10 e Figura 42).

Tabela 10: Granulometria, composição, arredondamento e esfericidade dos grãos descritos macroscopicamente do testemunho 4. Legenda: L – lama, AMF – areia muito fina, AF – areia fina, AM – areia média, AG – areia grossa, AMG – areia muito grossa, C – cascalho, S – seixo, QZ – quartzo, MC – Mica, RV – restos de vegetais, MO – matéria orgânica, BC – bioclastos, SA – subarredondado, San – subanguloso. ARRED. – arredondamento, ESFE. – esfericidade, A – alta, M – média, B – baixa.

GRANULAÇÃO									COMPOSIÇÃO					ARRED.			ESFE.		
AM	L	AMF	AF	AM	AG	AMG	C	S	QZ	MC	RV	MO	BC	SA	San	A	M	B	
T2N1			X	X					X	X			X		X			X	
T2N2				X	X				X				X	X				X	
T2N3				X	X				X	X		X	X	X	X			X	
T2N4			X	X					X	X		X	X	X				X	

O nível 1 é composto de areia fina a areia média e coloração cinza amarelado (5 Y 8/1), moderadamente selecionados, subarredondados e baixa esfericidade. Foi observado a presença de quartzo, mica, conchas, fragmentos de conchas e outros bivalves e foraminíferos, assim como uma lente de sedimentos com granulação areia grossa e coloração laranja escuro amarelado (dark yellowish Orange). Na imagem de radiografia, foi observado uma diferenciação na cor (pontos mais escuros) referente à lente com granulação

areia grossa e outros pontos maiores representando fragmentos de conchas (figura 42, linha 1)

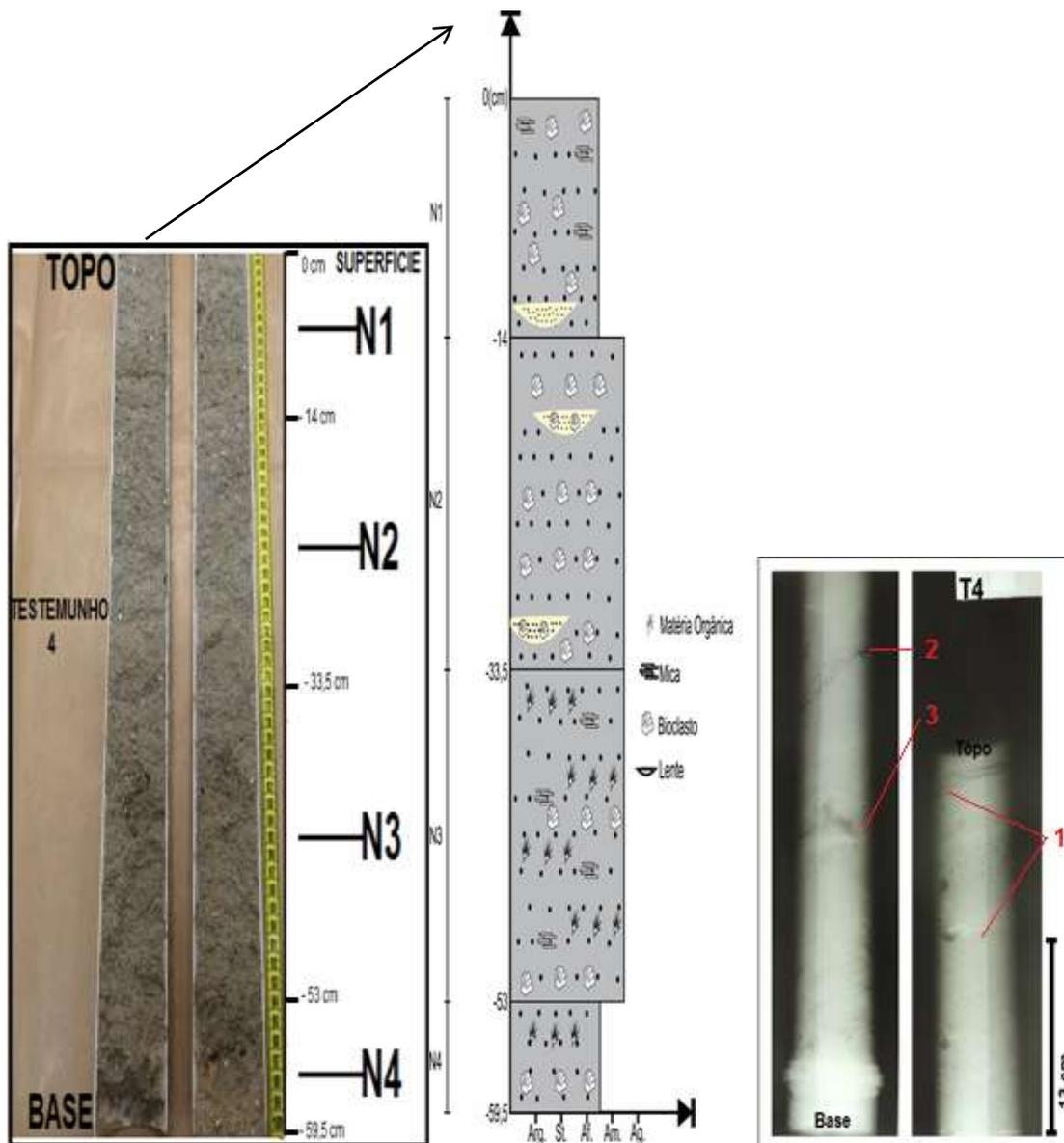
O nível 2 é composto de areia média a areia grossa, coloração cinza amarelado (5 Y 8/1), grãos subarredondados e baixa esfericidade. Foi observada a presença de quartzo e lente de bioclastos. Na imagem de radiografia, esta lente talvez esteja representada pelos pontos mais escuros levemente inclinados (figura 42, linha 2).

O nível 3 é composto por grãos variando de areia média a areia grossa, coloração cinza amarelado, (5 Y 8/1), pobremente selecionados, subangulosos, médio grau de arredondamento e baixa esfericidade. Foi observado a presença de quartzo, micas, matéria orgânica, e de bioclastos ao longo de todo o nível. Na imagem de radiografia, a mancha mais escura está evidenciada pela presença de um galho de árvore, alguns pontos ou linhas brancas ao redor desse galho são pequenas conchas e fragmentos de conchas (figura 42, linha 3).

O nível 4 é composto por grãos de areia fina a areia média, coloração cinza amarelado (5 Y 8/1), pobremente selecionados, subarredondados e baixa esfericidade. Foi observado a presença de quartzo, bioclastos e matéria orgânica.

Figura 42: Fotografia com desenho esquemático contendo a descrição detalhada dos sedimentos do Testemunho 04. Legenda: N1- nível 01; N2- nível 2; N3- nível 3; N4- nível 04;. Arg. – argila; St. – silte; Af. – areia fina; Am. – areia média; Ag.- areia grossa.

1- linha indica diferenciação na cor referente à lente com granulação areia grossa e outros pontos maiores representando fragmentos de conchas no nível 1; 2- linha indica lente de bioclastos representada pelos pontos mais escuros levemente inclinados no nível 2; 3 – linha indica mancha mais escura (presença de um galho de árvore) e pontos brancos que representam conchas e fragmentos de conchas no nível 3.

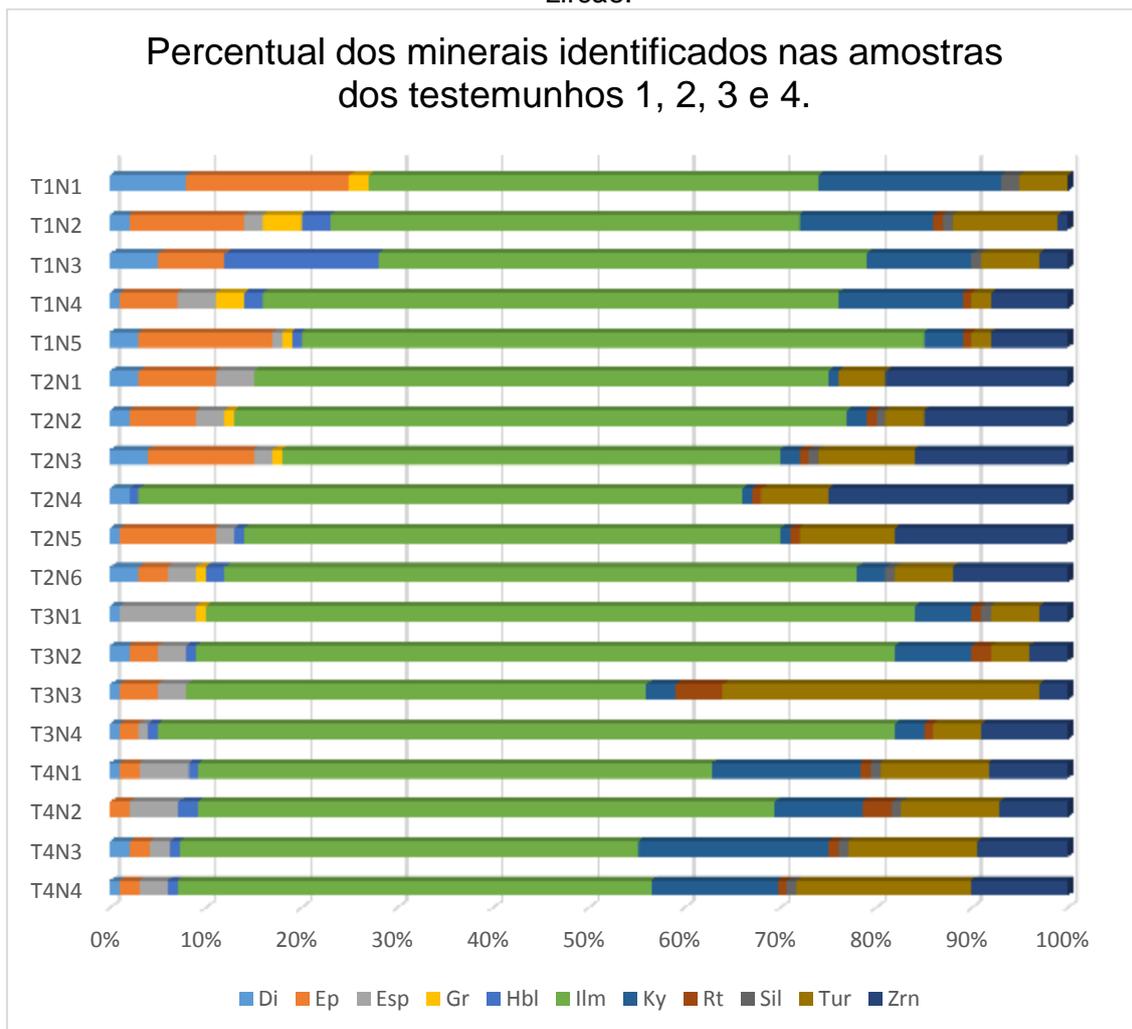


5.3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS PESADOS NAS AMOSTRAS DE TESTEMUNHO

A assembleia de minerais pesados identificados apresenta domínio de minerais opacos em relação aos transparentes, dentre esses a ilmenita é o

mineral mais abundante. Os minerais pesados transparentes, em ordem de abundancia, encontrados foram: cianita, turmalina, zircão, epidoto, espodumênio, diopsídio, rutilo, hornblenda, silimanita e granada. Segue na Figura 43 a porcentagem dos minerais pesados em todas as amostras.

Figura 43: Percentual dos minerais identificados nas amostras dos testemunhos 1, 2, 3 e 4. Legenda: Di – diopsídio, Ep – epidoto, Esp – espodumênio, Gr – granada, Hbl – hornblenda, Ilm – ilmenita, Ky – cianita, Rt – rutilo, Sil – silimanita, Tur – turmalina, Zrn – zircão.



Ilmenita

A ilmenita foi identificada em todas as amostras e apresentou, predominantemente, percentuais de concentração maior que 50%, sendo o maior percentual de 77% na amostra T3N4 (Figura 44). Concentrações inferiores a 50% foram visualizados em poucas amostras dos testemunhos 1, 3 e 4 (apenas 5 amostras no total). As ilmenitas são de cor preta, brilho metálico,

forma não definida, com alto grau de arredondamento (o que infere um transporte longo), ausência de clivagem e fratura conchoidal (Figura 45).

Figura 44: Gráfico de percentual de ilmenita nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4

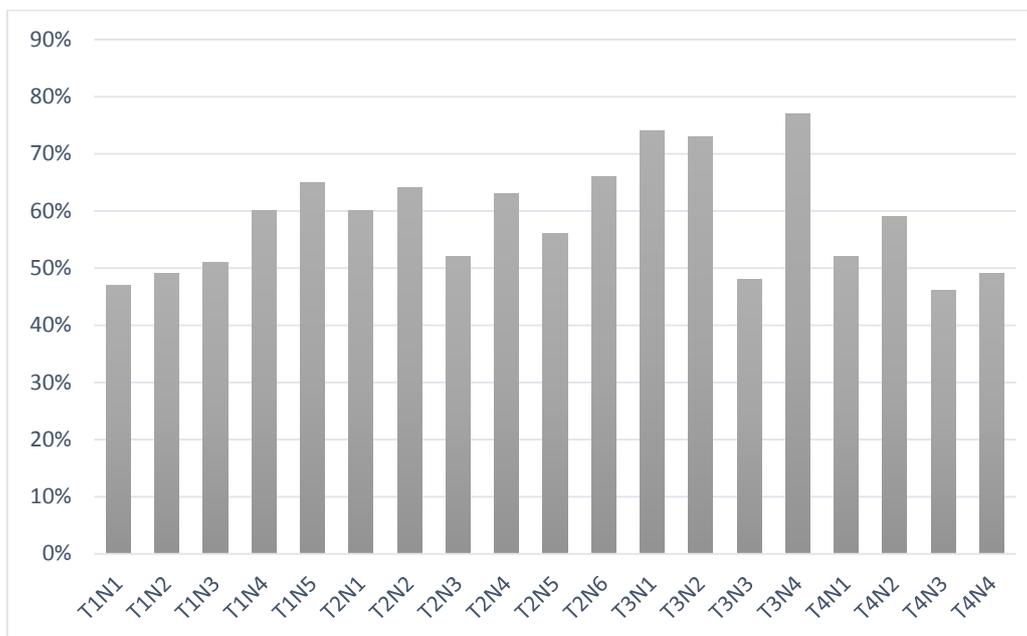
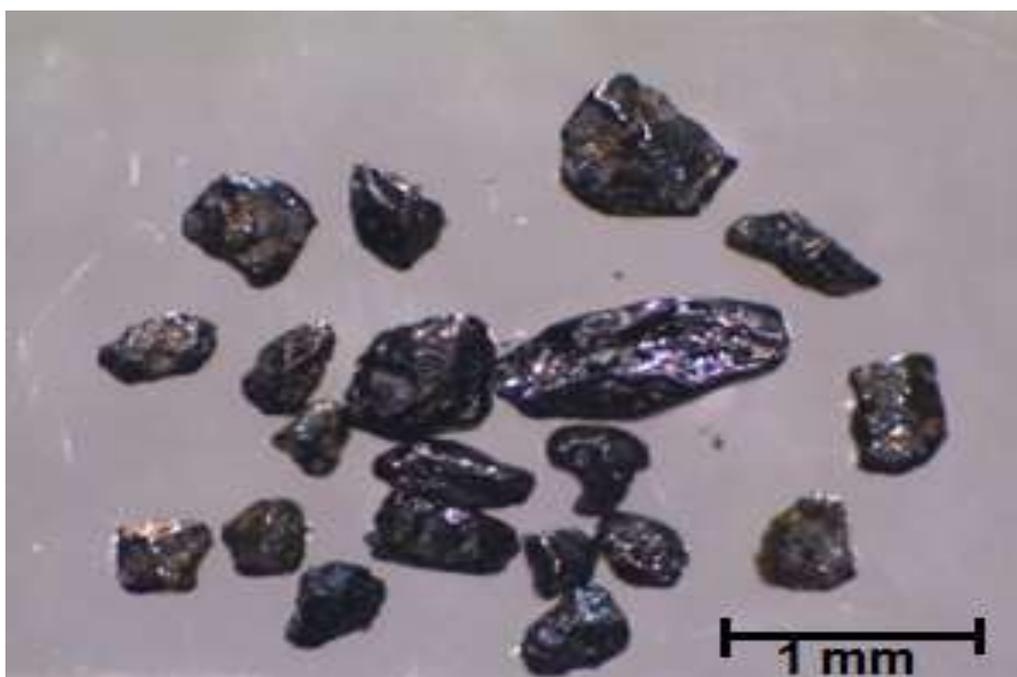


Figura 45: Grãos de ilmenita de coloração preta, amostra T1N1.



Cianita

A cianita foi identificada em todas as amostras, tendo um percentual médio de frequência de 7%, onde a menor concentração foi de 1% e a maior concentração de 19% (Figura 46). Os grãos visualizados, apresentam-se predominantemente incolores, porém, em menores quantidades, foram identificados grãos azulados, esverdeados e transparentes com traços de oxidação dando uma tonalidade laranja avermelhada (Figuras 47, 48 e 49).

Brilho vítreo, formas de tabletes achatados, alguns mais alongados segundo seu eixo principal, outros mais curtos. Em imagens do MEV, estas características estão bem destacadas (Figuras 50 e 51). Uma característica marcante desses grãos é a presença nítida de clivagem/fratura fazendo ângulo de 90° irregular (Figuras 49 e 50).

Figura 46: Gráfico do percentual de cianita nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.

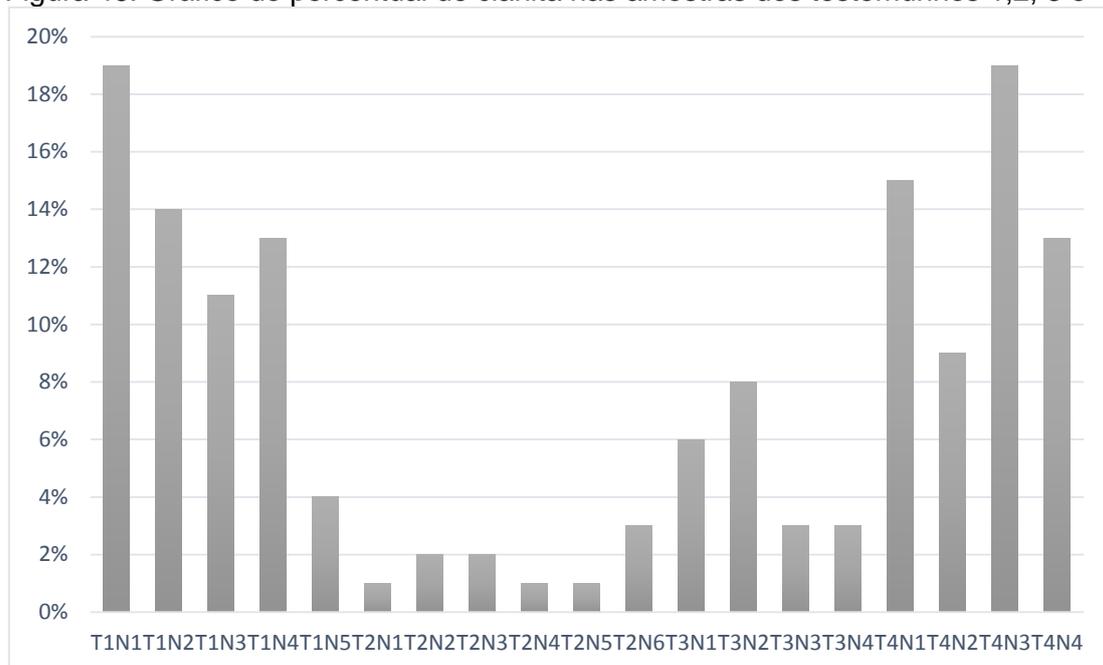


Figura 47: Minerais em grãos de cianita com coloração variando entre grãos transparentes, azuis e vermelhos (amostra T3N1).



Figura 48: Minerais em grãos de cianita (amostra T1N4), com tonalidade laranja avermelhada devido à presença de película de óxido de ferro ou argila.



Figura 49: Minerais em grãos de cianita transparente, levemente azulada (amostra T1N2).



Figura 50: Imagem do MEV de cianita em grão mostrando clivagem/fratura com ângulo de 90 ° (amostra T4N1).

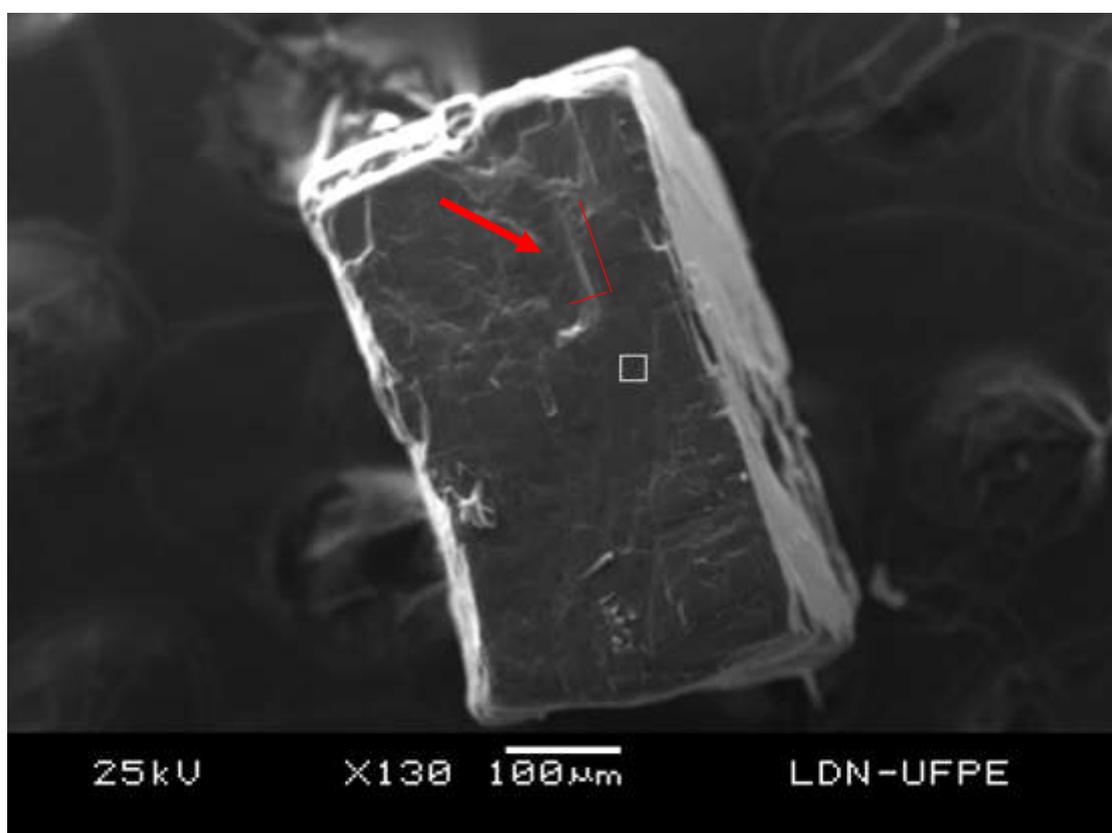
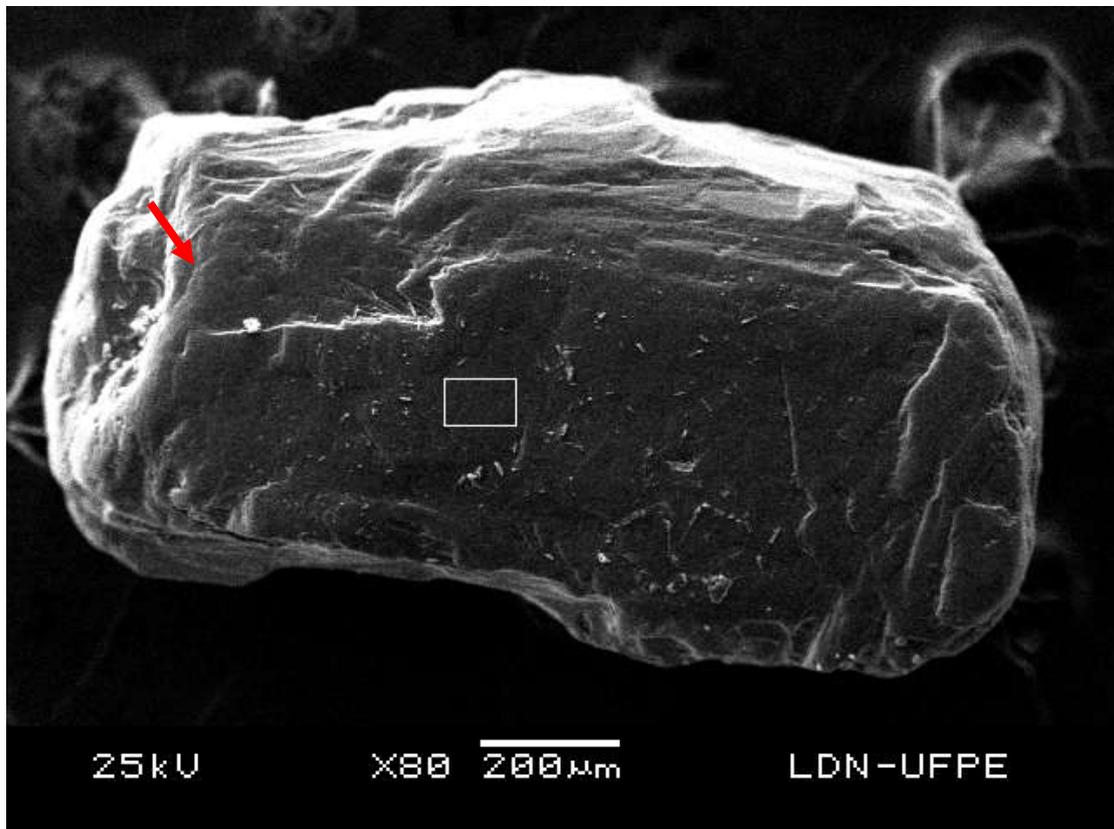


Figura 51: Imagem do MEV de grão de cianita (amostra T4N3). Tablete achatado, alongado segundo seu eixo principal. Apresenta feição de desgaste químico (seta vermelha).



Turmalina

A turmalina é um mineral comum nas amostras estudadas, foi identificada nas amostras com uma percentagem relativamente alta, sendo o maior teor concentração 33% (amostra T3N3) e o menor de 2% (Figura 52). As turmalinas analisadas apresentam coloração variando de castanho a castanho esverdeado (Figura 53), brilho vítreo, hábito prismático trigonal, com presença de estrias verticais, alguns prismas alongados, outros mais achatados ou quebrados, alguns grãos pouco arredondados. Pode-se observar, em imagens do MEV (Figuras 54 e 55), que os grãos apresentam extremidade fraturada, marcas de impacto, marcas de choque por partícula e ranhuras (evidenciando a presença de intemperismo físico durante o transporte) e feições de dissolução química, indicando menor presença de intemperismo químico em relação ao físico.

Figura 52: Gráfico do Percentual de turmalina nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.

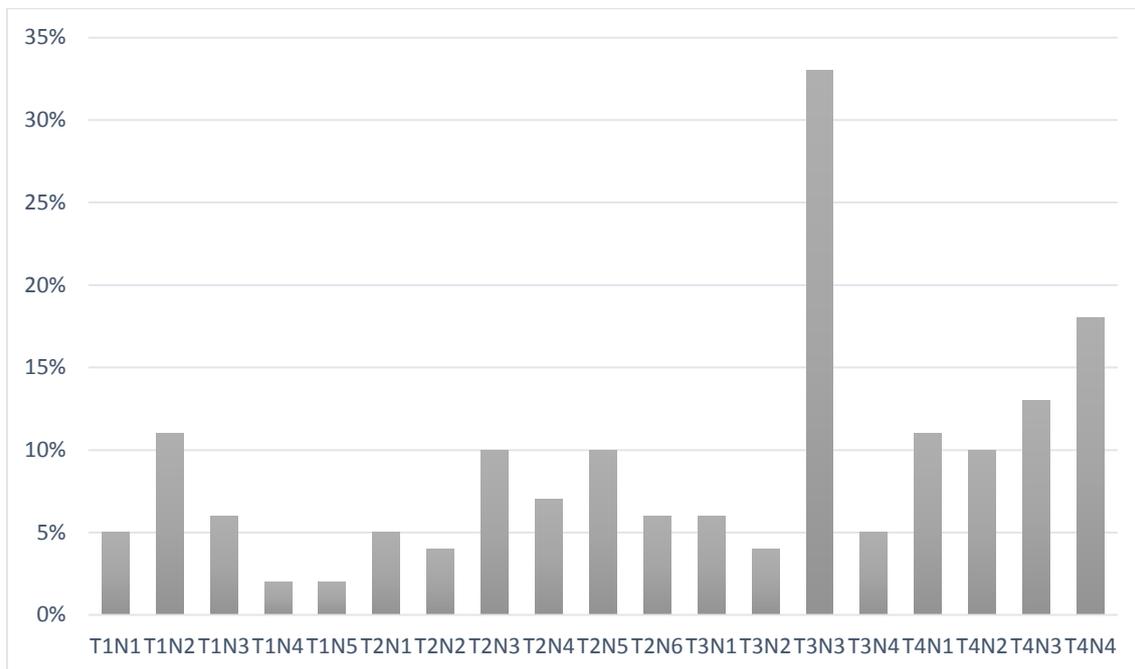


Figura 53: Minerais em grãos de turmalina da amostra T3N2.

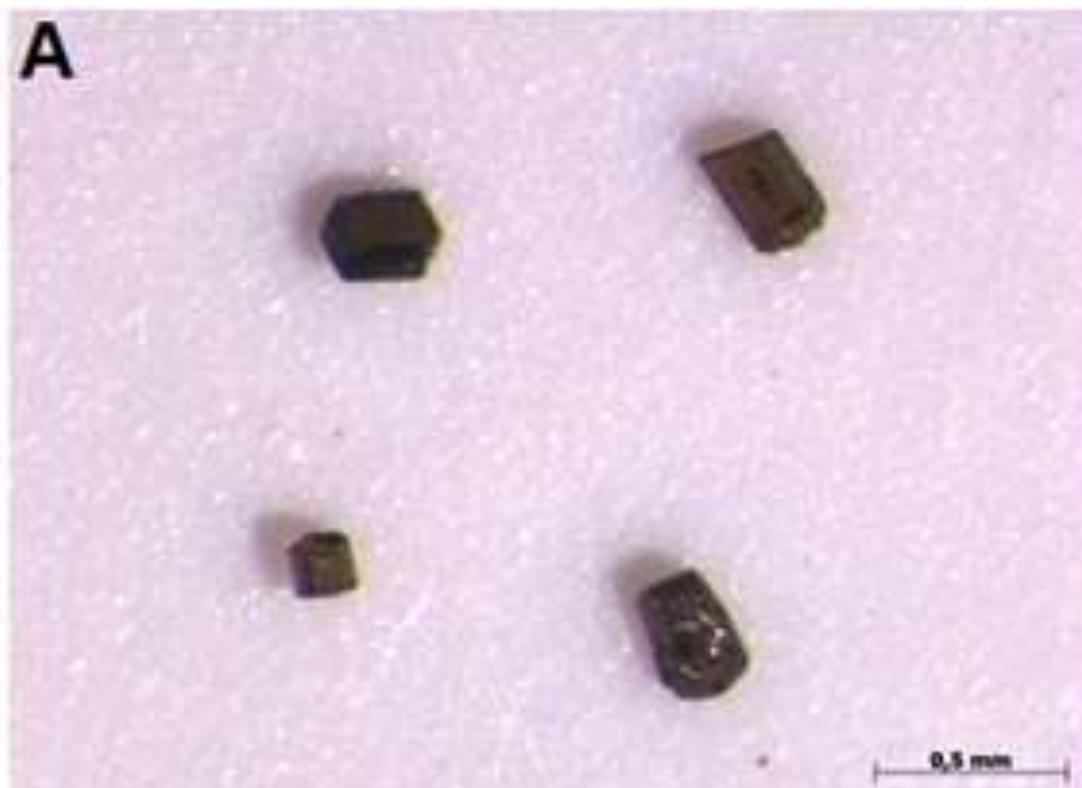


Figura 54: Grão de turmalina em imagem do MEV, extremidade fraturada (seta vermelha) e marcas de impactos (seta amarela).

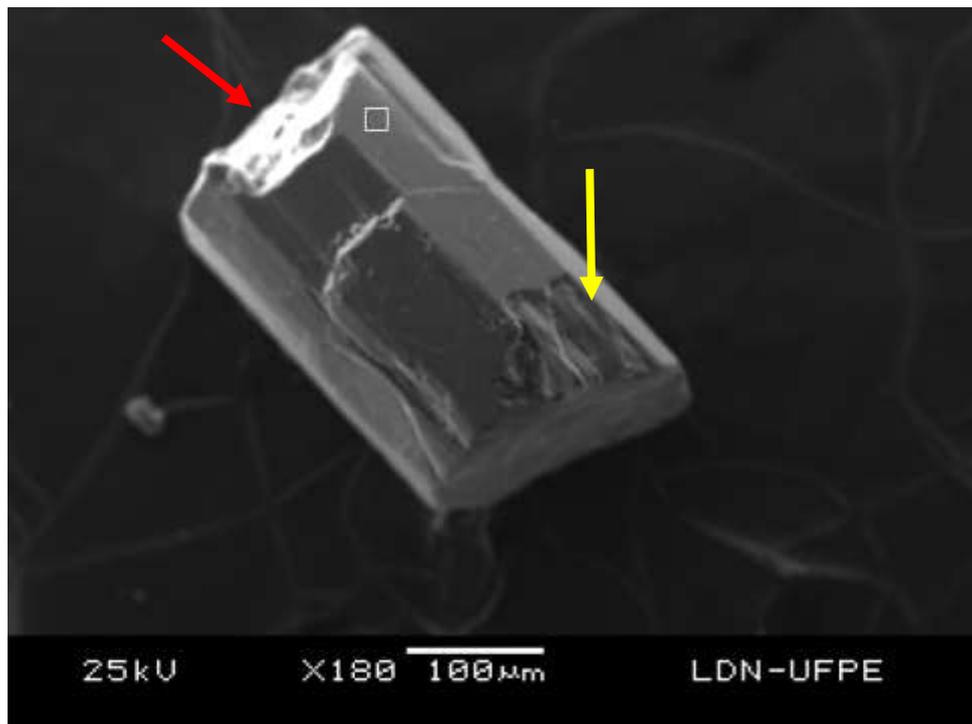
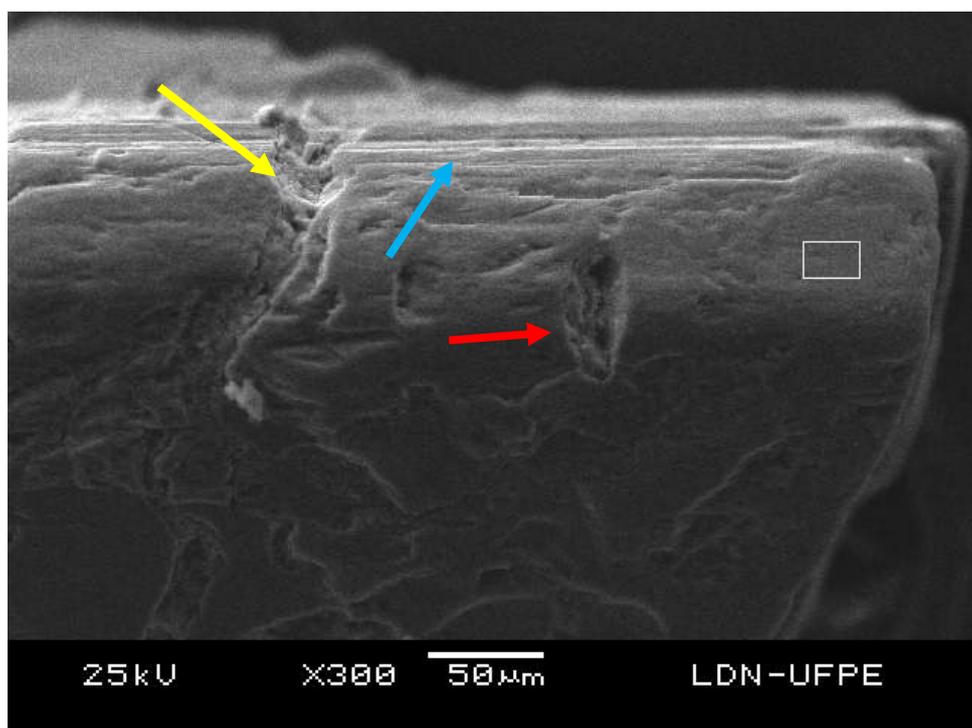


Figura 55: Grão de turmalina em imagem do MEV, feições de dissolução (seta amarela), ranhuras (seta azul) e marcas de choque por partícula aderente (seta vermelha).



Zircão

O zircão aparece com as mais variadas morfologias, presente em areias finas e areias muito finas. O zircão foi identificado em todas as amostras, exceto na amostra T1N1. Apresentou uma frequência média de 9% do total de minerais identificados. A maior concentração deste mineral foi de 25% (amostra T2N4) e a menor concentração foi 1% (amostra T1N2) (Figura 56).

Foram identificados grãos com aspecto brilhoso, incolores, róseos, creme e também levemente acinzentados subordinadamente. Os grãos róseos, creme a castanho escuro e cinza, na maioria ocorrem em prismas curtos ou longos, bipiramidais, euedrais ou subeuedrais, em alguns casos com alto grau de arredondamento (Figuras 57, 58 e 59). Os grãos transparentes apresentaram formas euédricas, acicular e também grãos com baixo grau de arredondamento (alguns fragmentados).

Figura 56: Gráfico do Percentual de zircão nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.

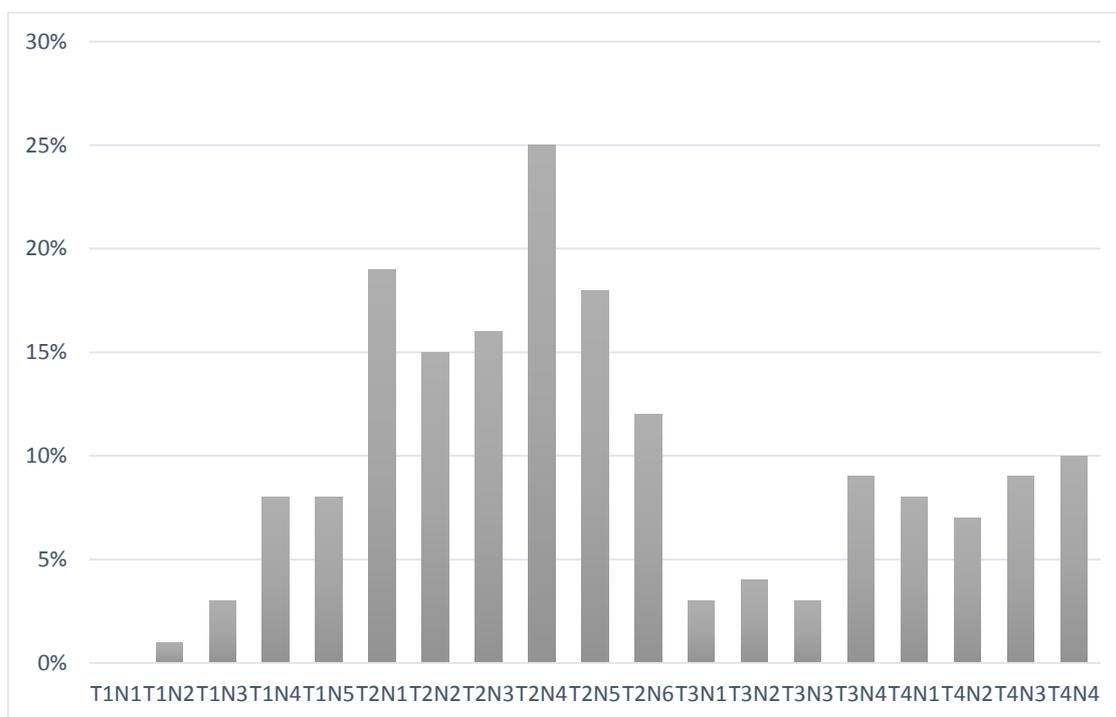


Figura 57: Grãos de zircão rosa transparente e prismáticos.



Figura 58: Grãos de zircões incolores e coloridos. Os coloridos apresentam variações do creme ao castanho escuro.

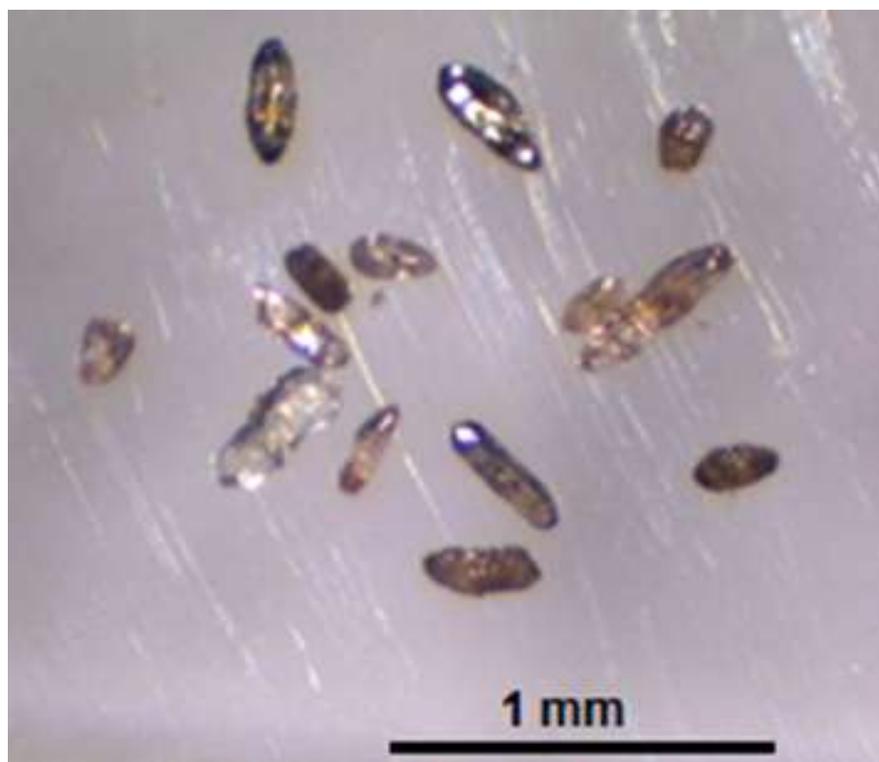
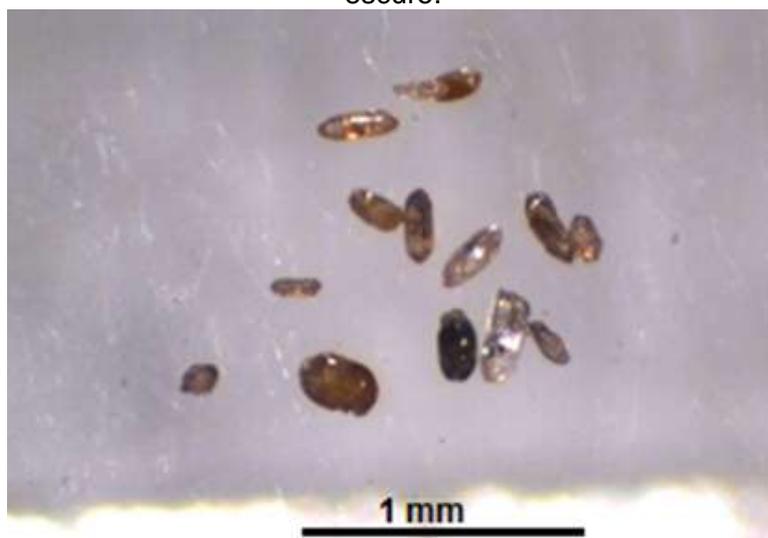


Figura 59: Grãos de zircões incolores e com cores que variam do creme ao castanho escuro.



Em imagens do MEV (Figuras 60 a 67), foi observado na superfície dos grãos estudados, marcas de desgaste físico, de choque ao longo do transporte e fraturas. Feições de dissolução química também foram observadas.

Figura 60: Grão de zircão euédrico de coloração creme, apresenta marca de dissolução (seta vermelha) e marcas de choque (seta amarela).

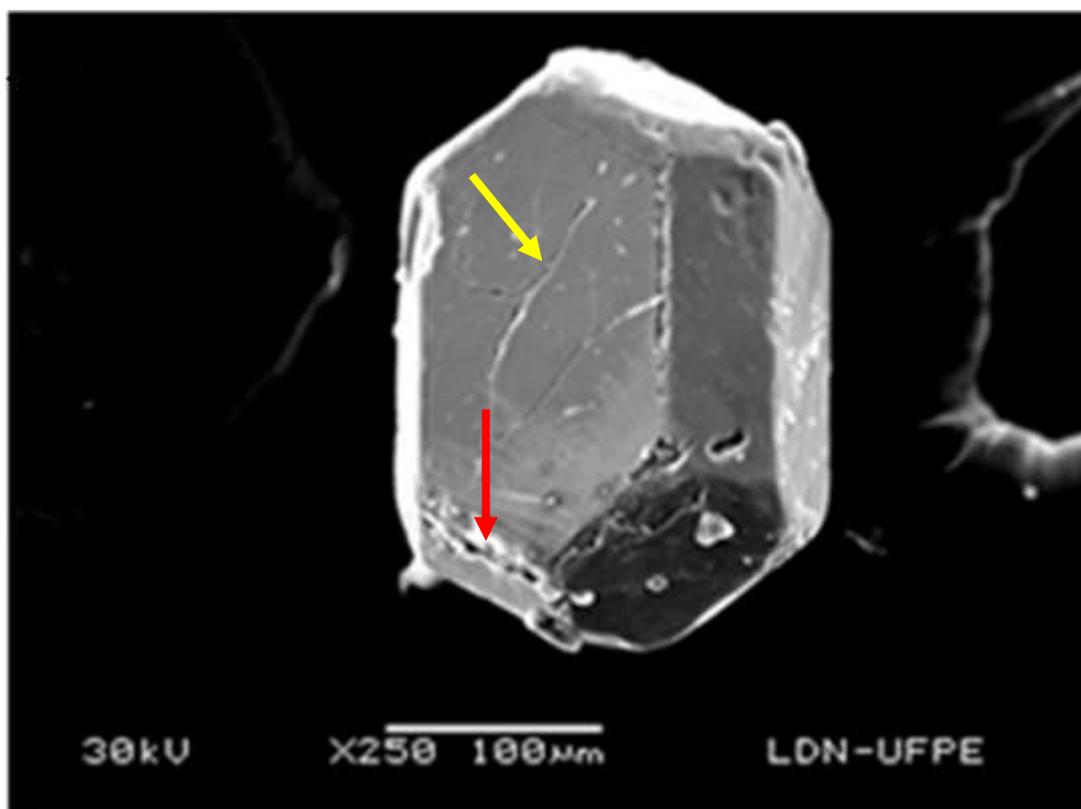


Figura 61: Grão de zircão prismático apresentando na sua extremidade feições de dissolução (seta vermelha) e desgaste físico (seta amarela).

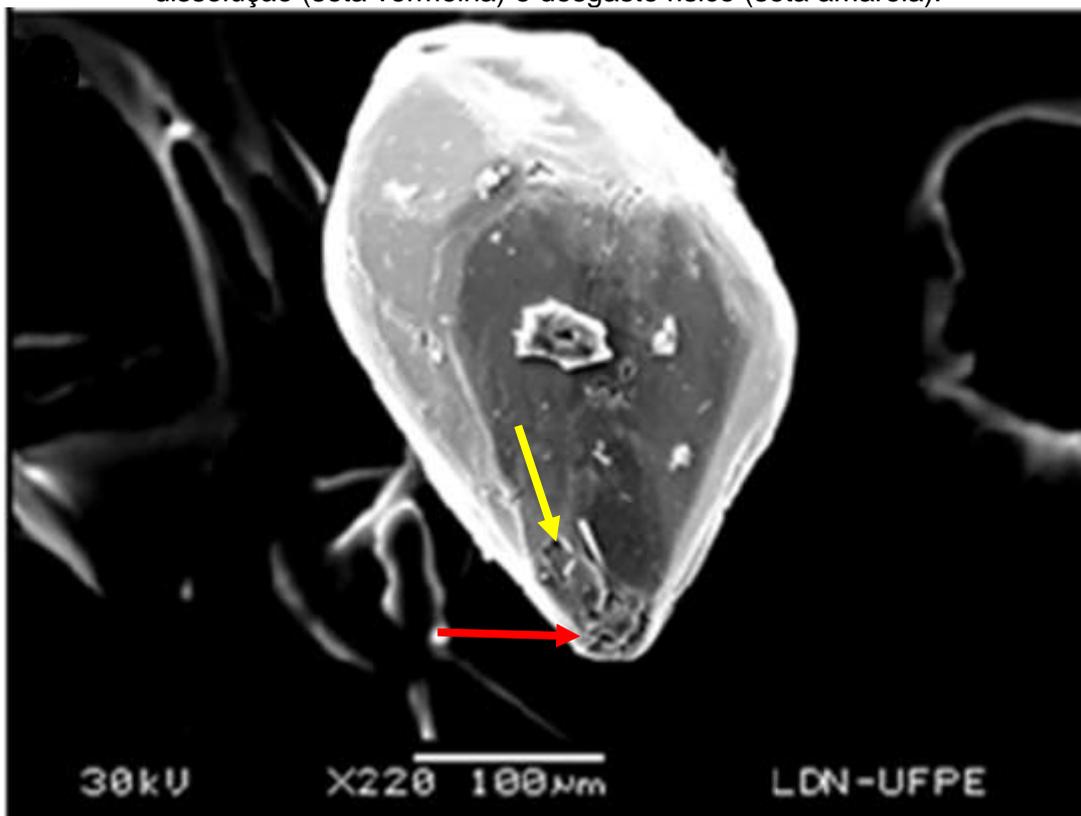


Figura 62: Grão de zircão euédrico, apresenta superfície de fratura (seta amarela), marca de impacto (seta azul) e marca de impacto (seta vermelha).

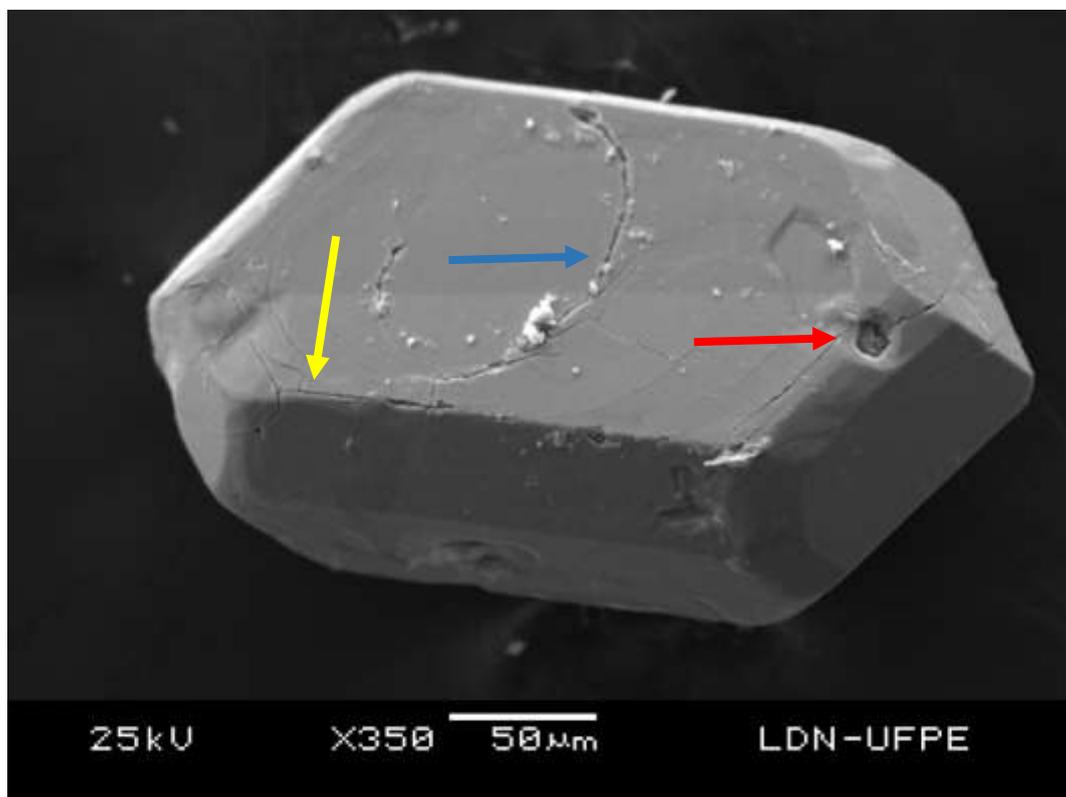


Figura 63: Zoom do zircão da imagem anterior evidenciando marca de impacto.

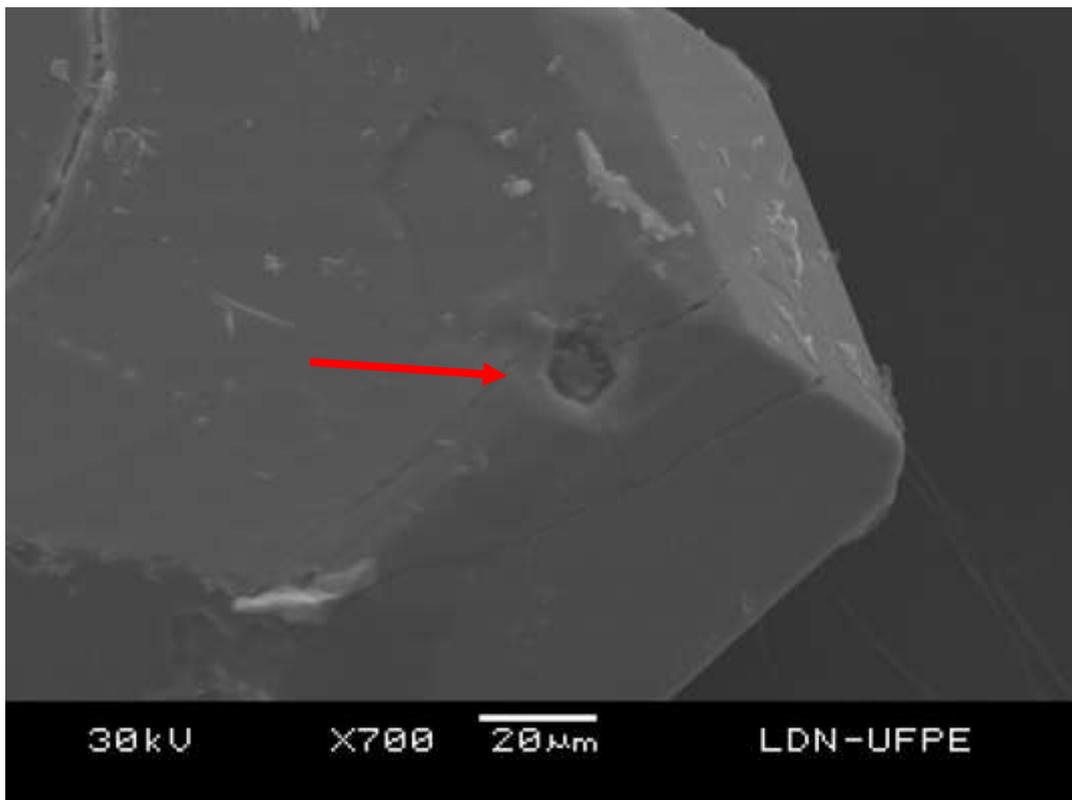


Figura 64: Grão de zircão com extremidades desgastadas e quebradas em consequência do transporte, seta indica superfície com aspecto de dissolução.

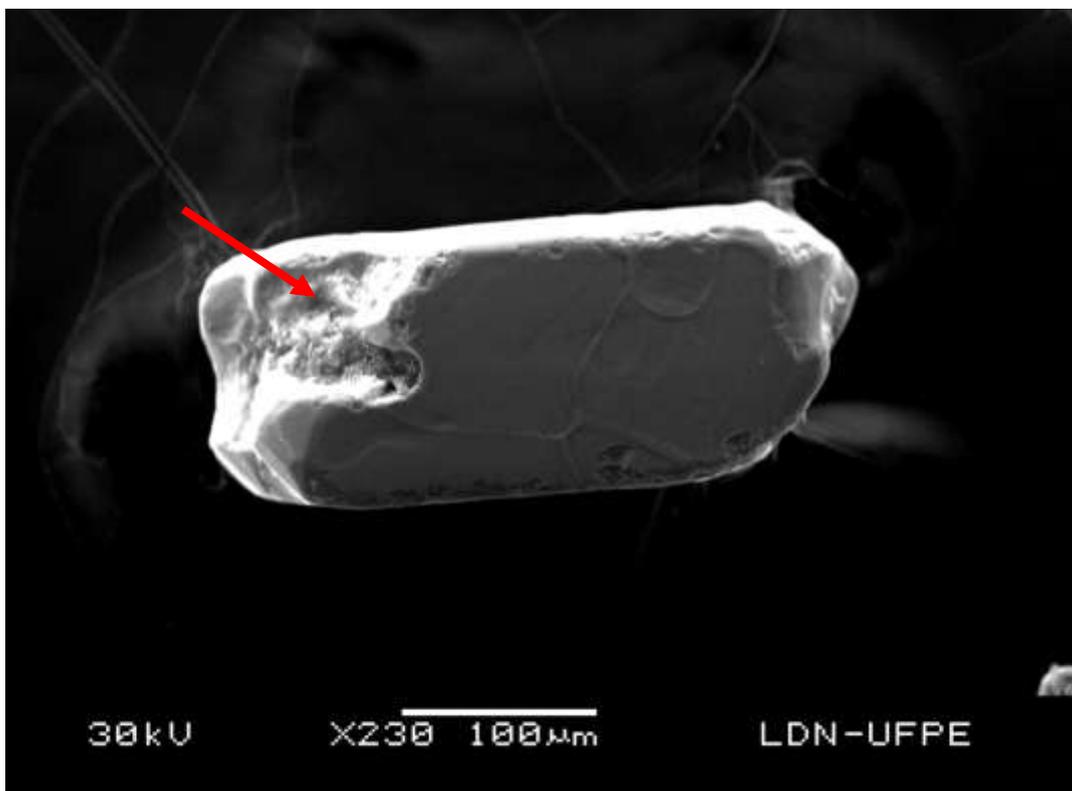


Figura 65: Zoom do grão de zircão, em evidência a superfície com aspecto de dissolução.

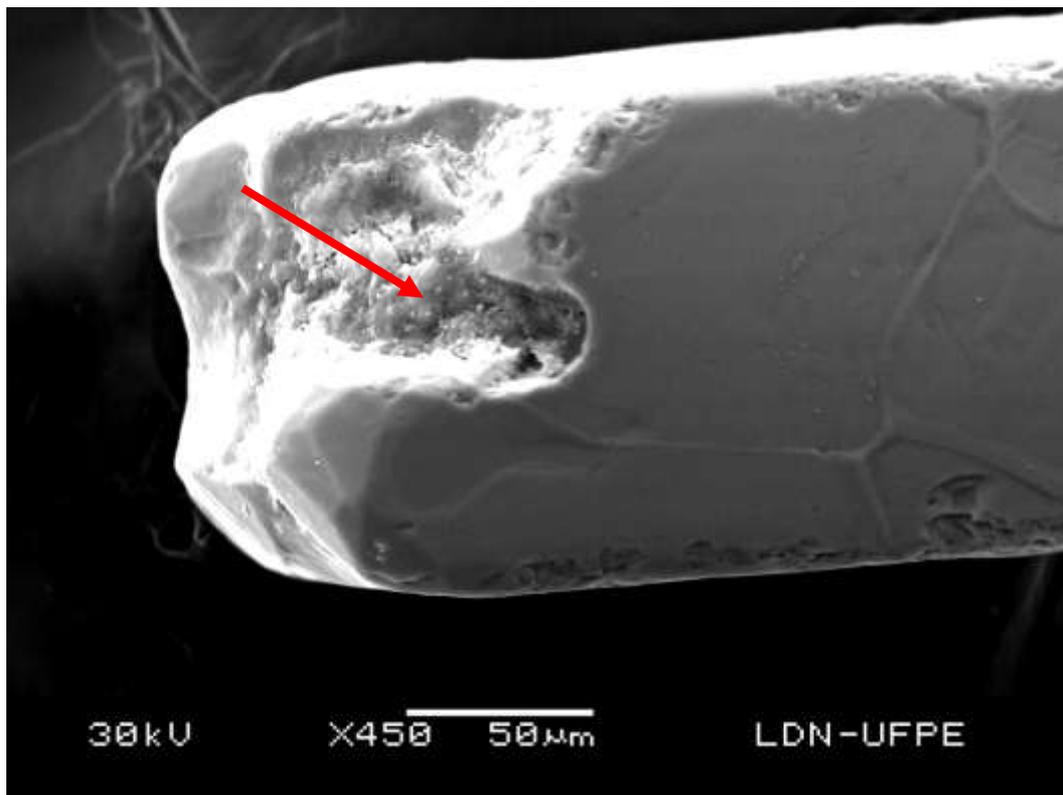


Figura 66: Grão de zircão metamórfico (devido ao seu formato), fisicamente alterado, apresentando marcas de fratura.

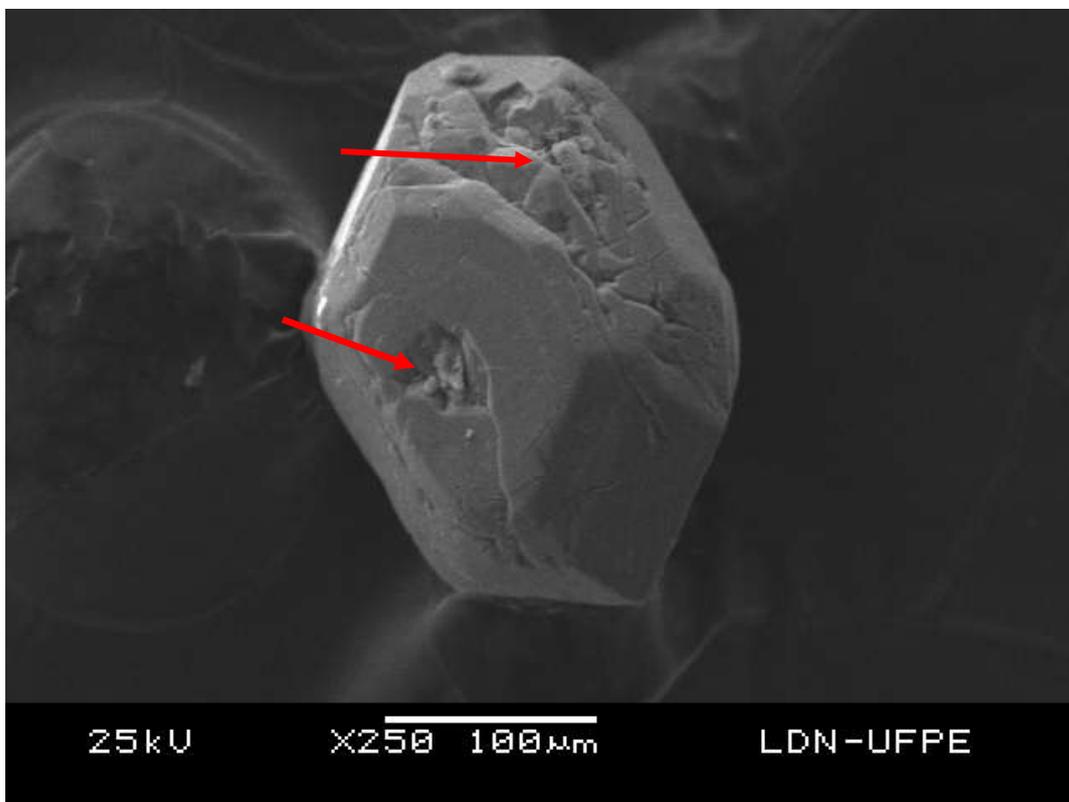
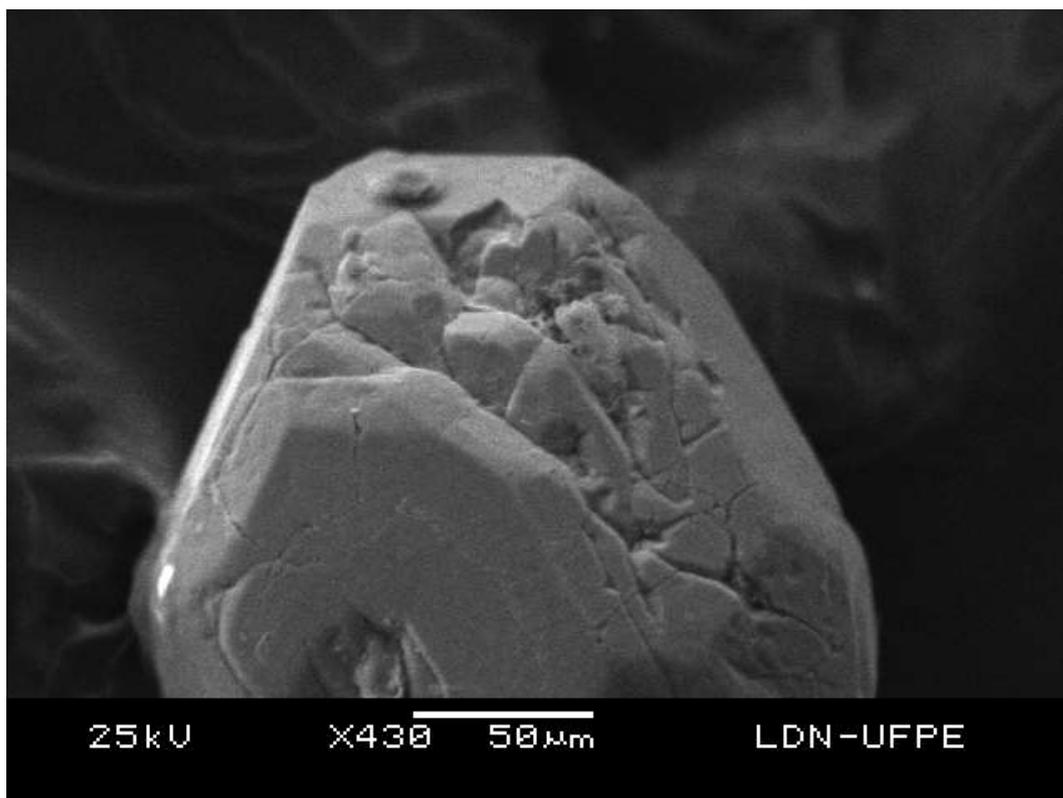


Figura 67: Zoom de zircão metamórfico, evidenciando fraturas.



Epidoto

Os grãos de epidoto foram identificados na maioria das amostras, não observado apenas nos sedimentos de duas amostras (amostras T2N4 e T3N1). Apresentaram uma concentração média de 6% em relação aos demais minerais, onde a menor foi 2% e a maior concentração foi 17% (Figura 68). Nas amostras analisadas, os grãos de epidoto, são na sua maioria, bem característicos, apresentam coloração verde pistache, verde amarelado e amarelo, brilho vítreo, superfície rugosa, fraturas conchoidais, (Figura 69). Com a predominância de grãos subarredondados a arredondados. Não foram observados em formas prismáticas.

Figura 68: Gráfico do Percentual de epidoto nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.

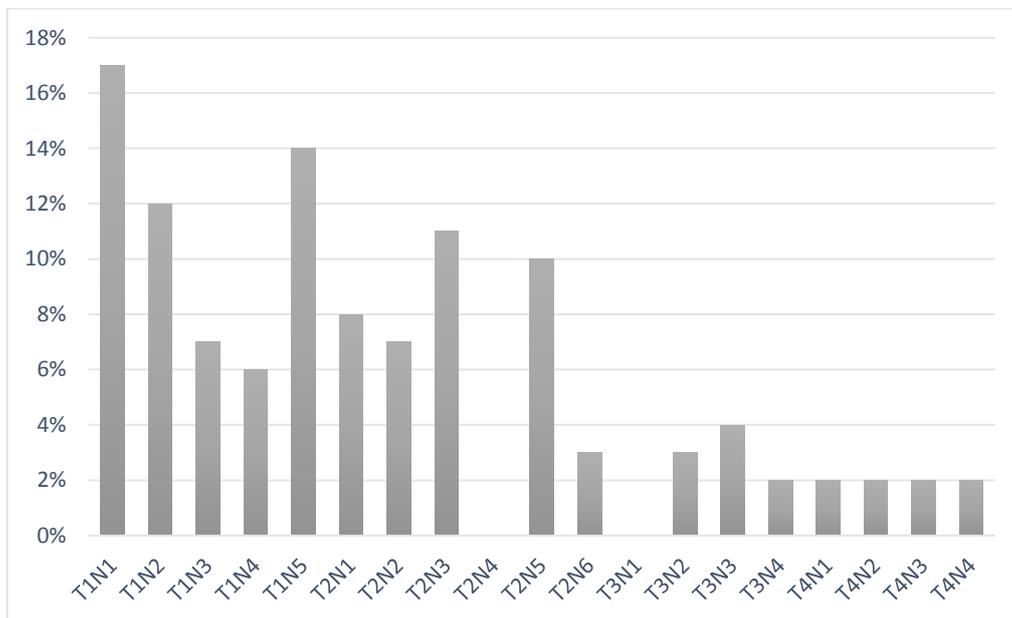


Figura 69: Grãos de epidoto na cor verde amarelada (amostra T1N4).



Espodumênio

Os grãos de espodumênio só não foram identificados nas amostras T1N1, T1N3 e T2N4 (Figura 70). Apresentando uma frequência média de 6%,

tendo 1% como o mínimo de concentração e 8% o máximo de concentração. Ocorre na cor branca com aspecto meio leitoso, em cristais prismáticos achatados com faces estriadas verticalmente (Figura 71). Em imagem do MEV, pode-se observar cristal prismático, apresentando estrias verticais e aspecto fibroso (Figura 72).

Figura 70: Gráfico do Percentual de espodumênio nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.

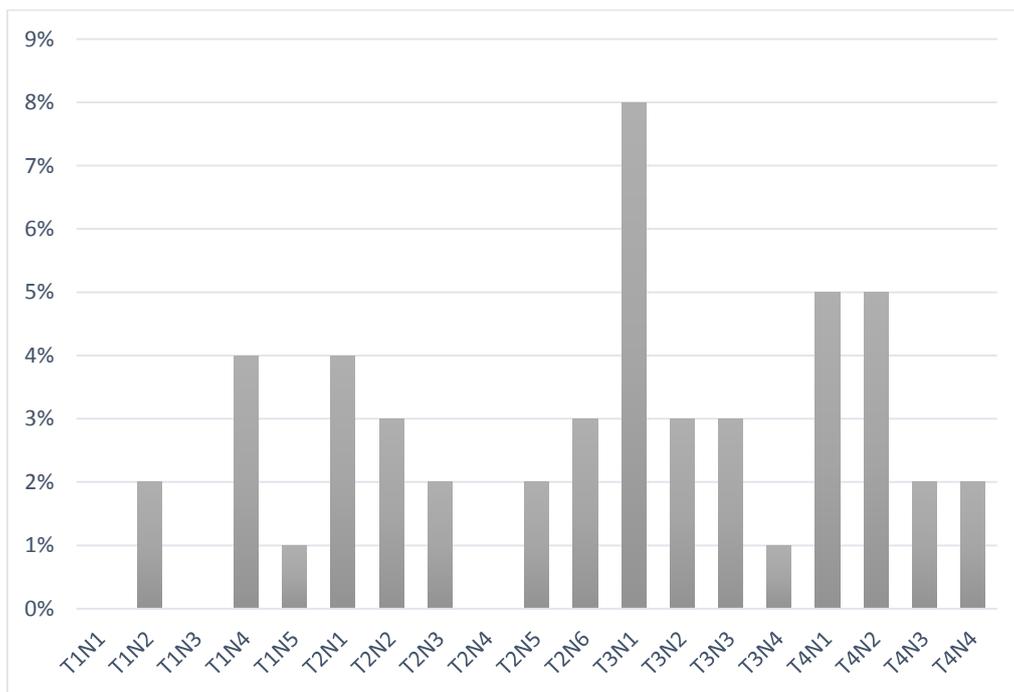
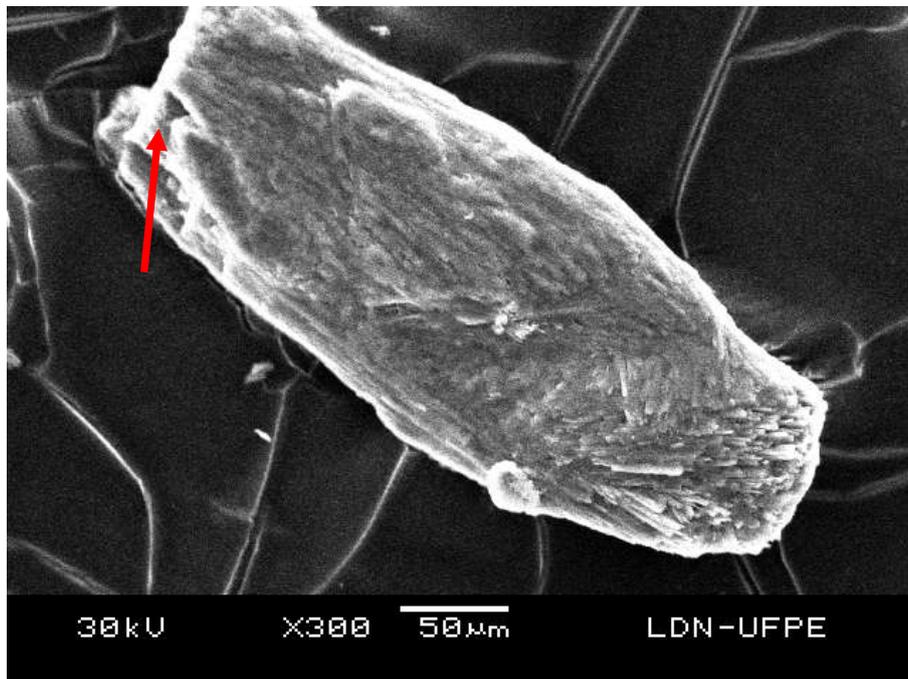


Figura 71: Minerais em grãos de espodumênio.



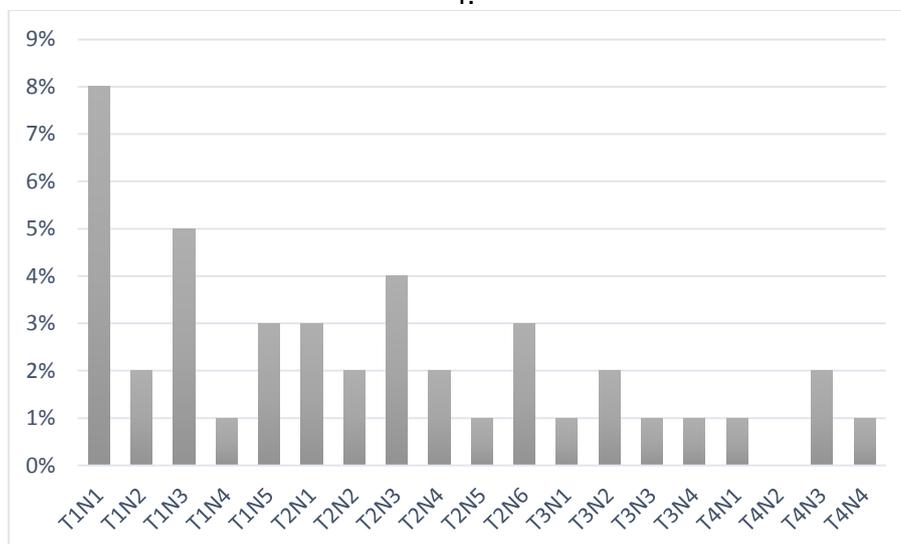
Figura 72: Grão de Espodumênio (amostra T1N4), grão prismático, apresentando estrias verticais e aspecto fibroso. Sete indica extremidade fraturada indicando desgaste físico.



Diopsídio

O diopsídio foi identificado em todas as amostras, exceto na amostra T4N2, porém com percentual relativamente baixo, em torno de 1%, tendo uma maior concentração apenas na amostra T1N1(8%) (Figura 73). Os grãos observados possuem cor verde escura, brilho vítreo, com a presença de rugosidades na superfície.

Figura 73: Gráfico do Percentual de diopsídio nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.



Rutilo

O rutilo se mostrou pouco frequente nas amostras, presente em 15, mas com um percentual predominante de 1%, só tendo sido observado dois picos de concentração de 5% e 3% nas amostras T3N3 e T4N2 respectivamente (Figura 74). Os grãos identificados apresentam cor castanho, forma prismática, euédricos, alguns com presença de sulcos paralelamente ao eixo principal, (Figura 75). Em imagem de MEV (Figuras 76 e 77), foi observado, grão de ilmenorutilo, variação do rutilo que contém ferro em sua composição química (Figura 78), sua superfície apresenta sulcos. No mesmo grão observa-se também fratura conchoidal, marca de choque por partícula aderente e presença de sulcos.

Figura 74: Gráfico do Percentual de rutilo nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.

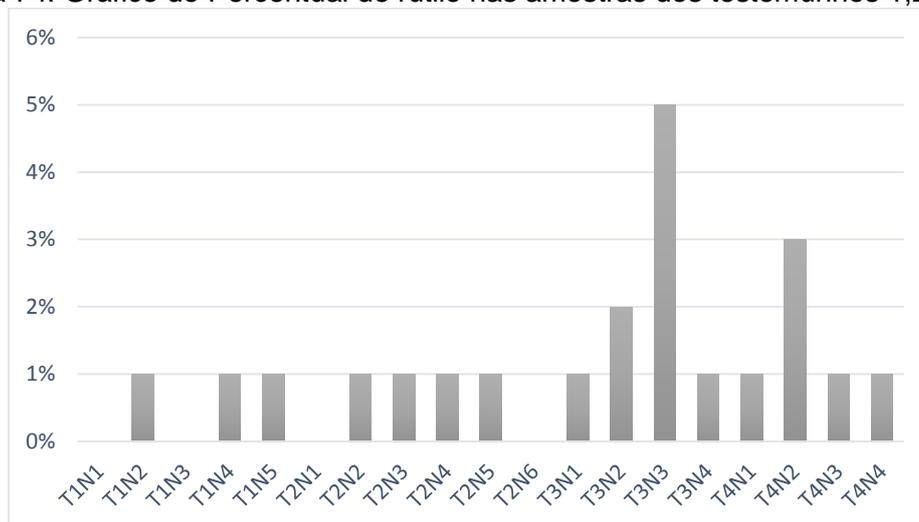


Figura 75: Grão de rutilo (amostra T3N3).



Figura 76: Imagem de MEV de grão de ilmenorutilo (variação do rutilo que contém ferro em sua composição química). Em sua superfície apresenta sulcos.



Figura 77: Imagem de MEV ampliada de grão de Ilmenorutilo, apresentando fratura conchoidal (seta amarela), marca de choque por partícula aderente (seta vermelha) e presença de sulcos (seta azul).

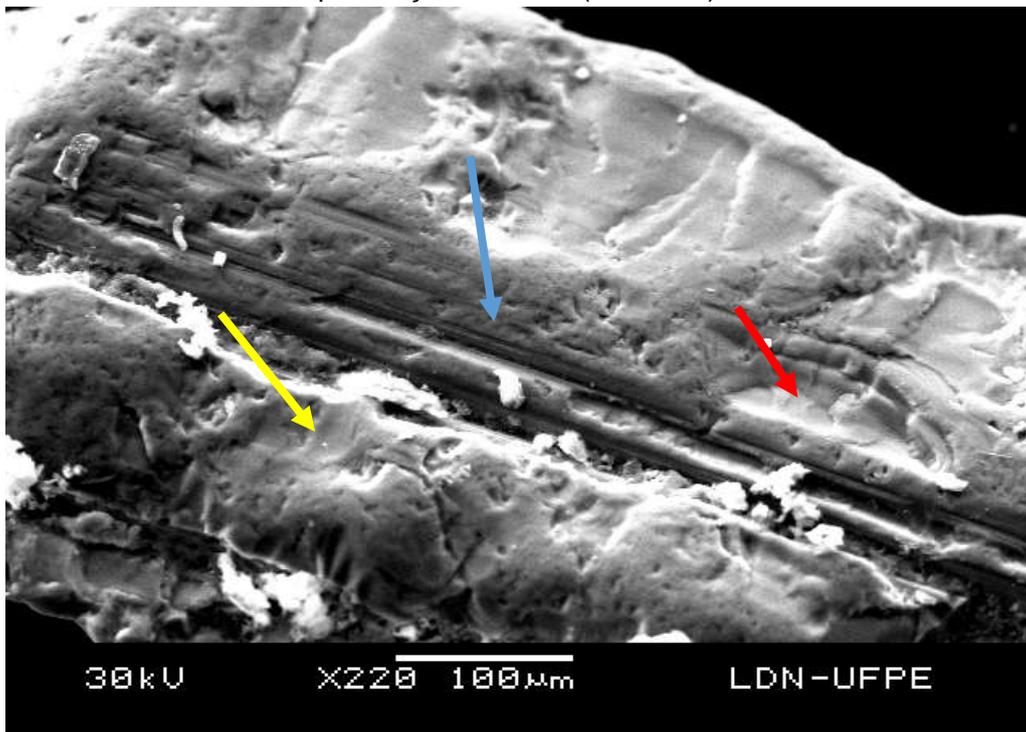
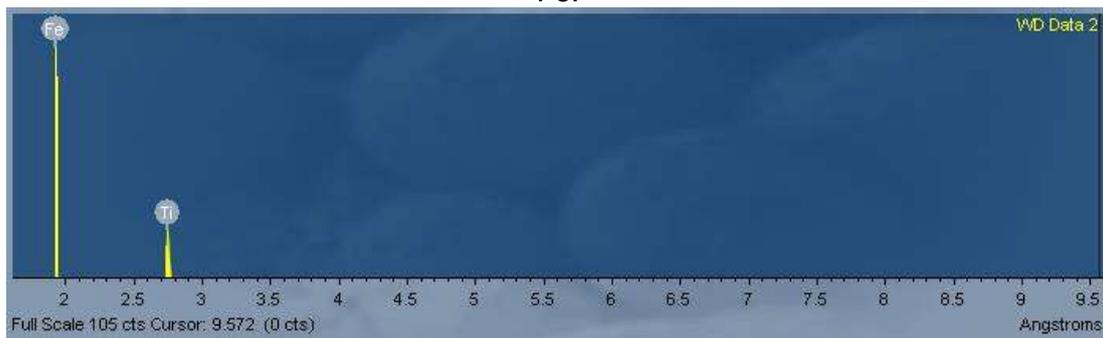


Figura 78: Imagem de espectrograma por WDS do rutilo (amostra T3N3), detectado Fe.



Hornblenda

A hornblenda foi observada em 13 amostras, tendo uma concentração relativamente baixa, 1% na maioria das amostras, porém houve um pico de concentração na amostra T1N3 apresentando o percentual de 16% (Figura 79). Os grãos desse mineral foram identificados na cor verde escura, superfície brilhosa, transparentes, em cristais prismáticos alongados, textura fibrosa e acicular, apresentando clivagem com ângulos variando entre 56° e 124°. Pode-se visualizar as características de textura em imagens do MEV (Figuras 80, 81 e 82), onde a textura fibrosa e as fraturas estão em evidência, os elementos químicos identificados foram Na, Mg, Al, Si, K, Ca e F.

Figura 79: Gráfico do Percentual de hornblenda nas amostras dos testemunhos 1, 2, 3 e 4.

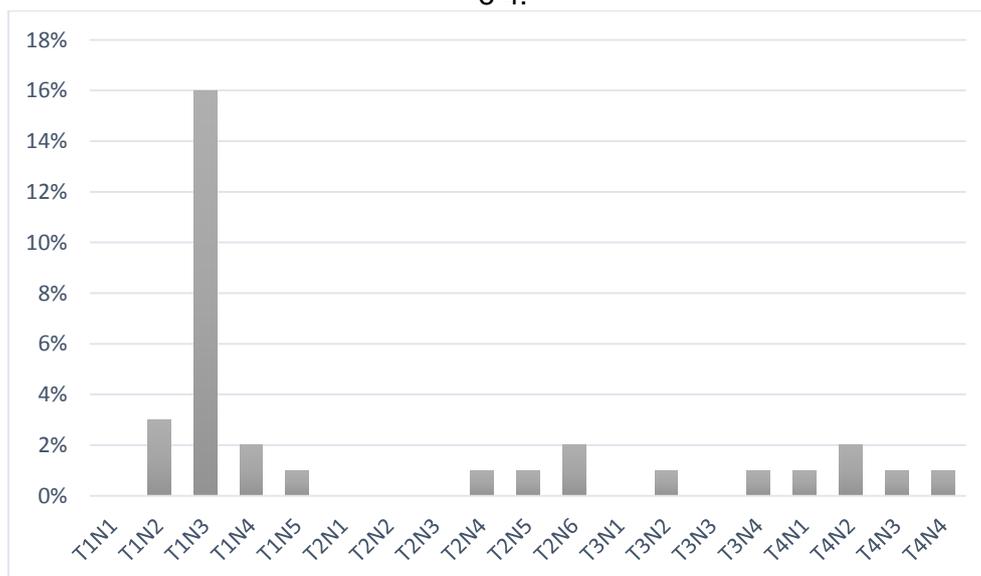


Figura 80: Imagem do MEV de grão de hornblenda da amostra T1N3. Prisma alongado com aspecto fibroso, apresenta estrias e também clivagem em ângulos maiores que 90° (seta vermelha).

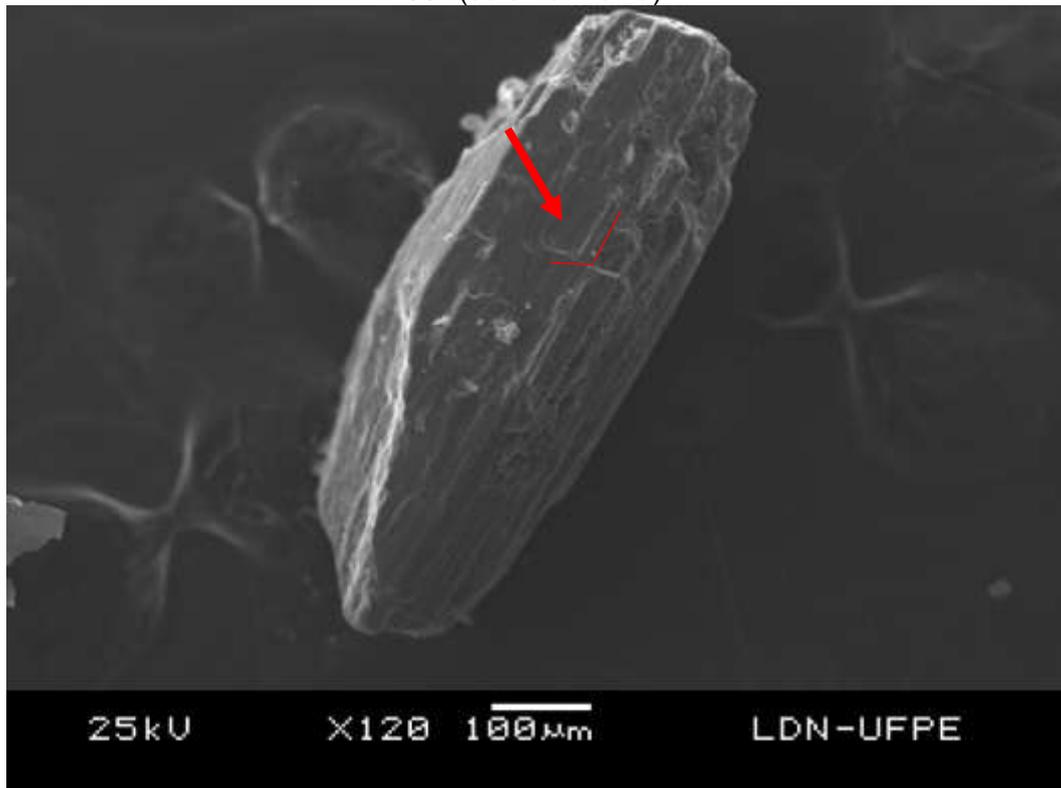


Figura 81: Imagem do MEV de grão de hornblenda ampliado da amostra T1N3.

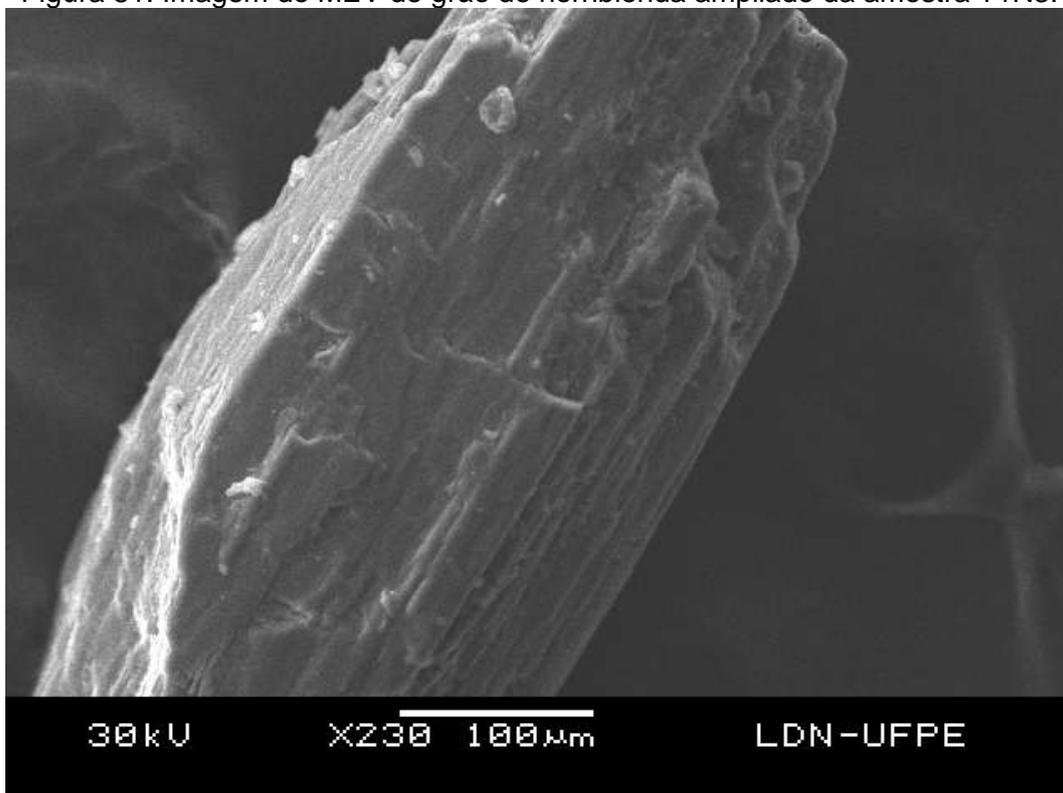
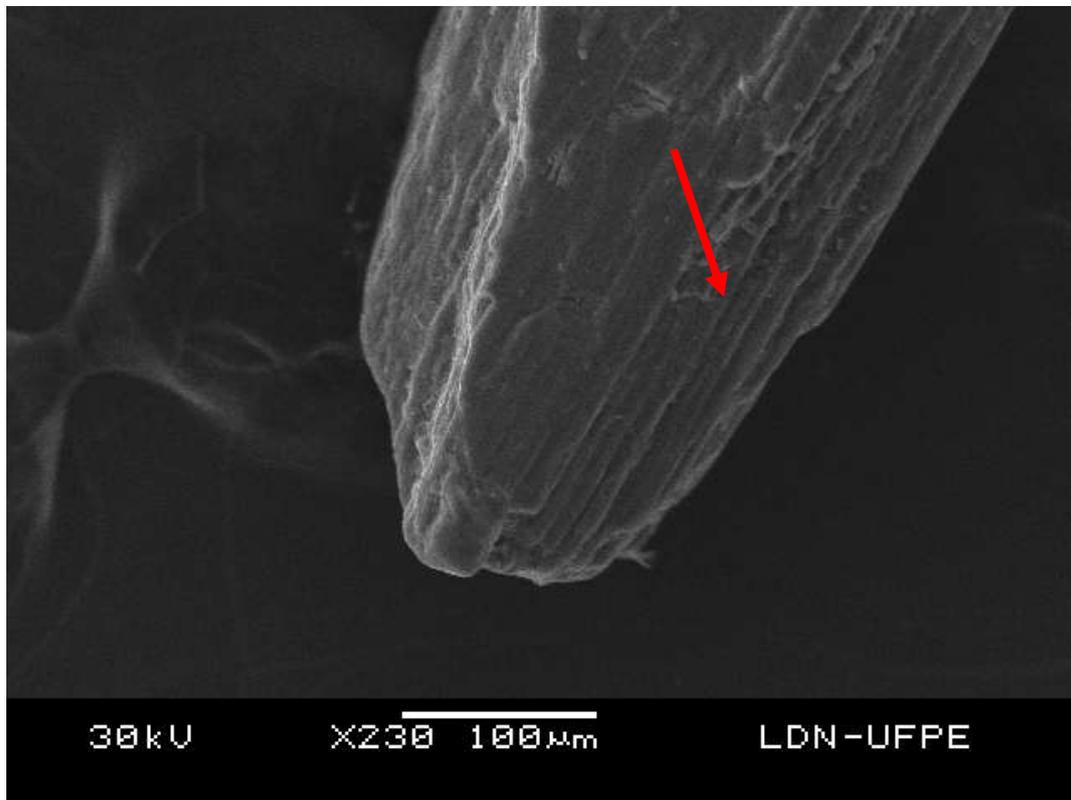


Figura 82: Imagem do MEV de grão de hornblenda ampliado da amostra T1N3. Seta indica presença de estrias.



Silimanita

Os grãos de silimanita foram identificados em poucas amostras (11 amostras) e ainda com um percentual muito baixo de 1% em todas, exceto na T1N1, que apresentou o percentual de 2%(Figura 83). Os grãos se apresentam na coloração creme fosco e alguns grãos sendo esbranquiçados em formas prismáticas ou não, alongadas, aciculares, com faces finamente estriadas (Figura 84). Em imagem do MEV, pode-se observar uma silimanita com ausência de estrias (Figuras 85 e 86), a coloração desse grão é o tom creme.

Figura 83: Gráfico do Percentual de silimanita nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.

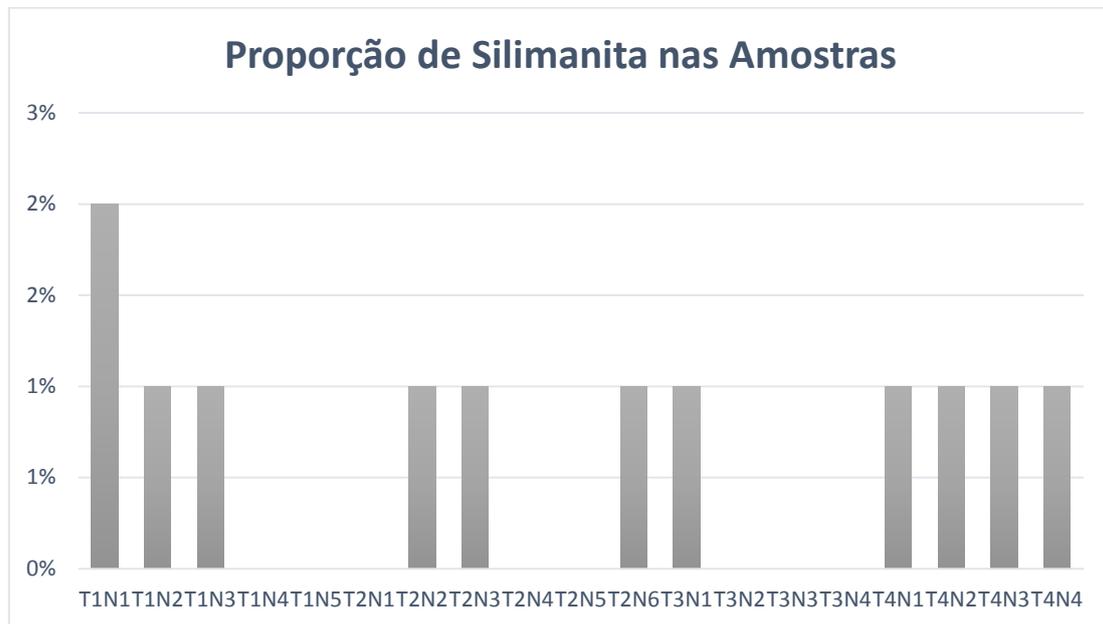


Figura 84: Minerais em grãos de silimanita (amostra T1N1).



Figura 85: Imagem do MEV de grão de silimanita (amostra T1N1).

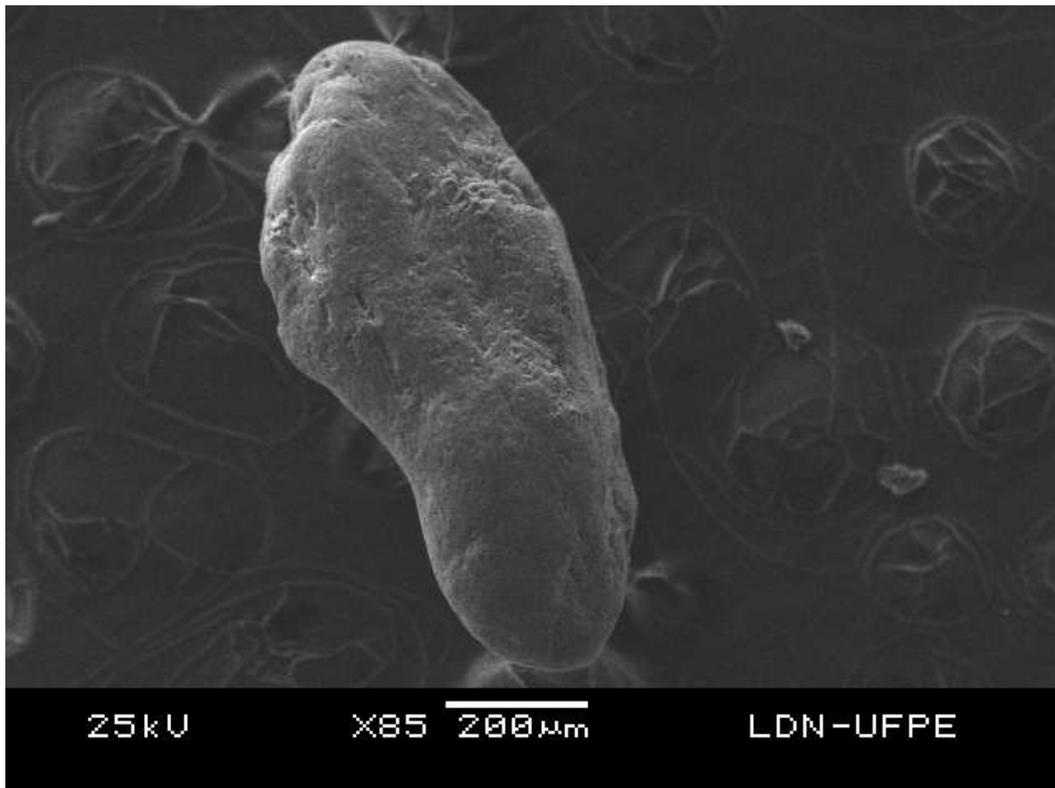
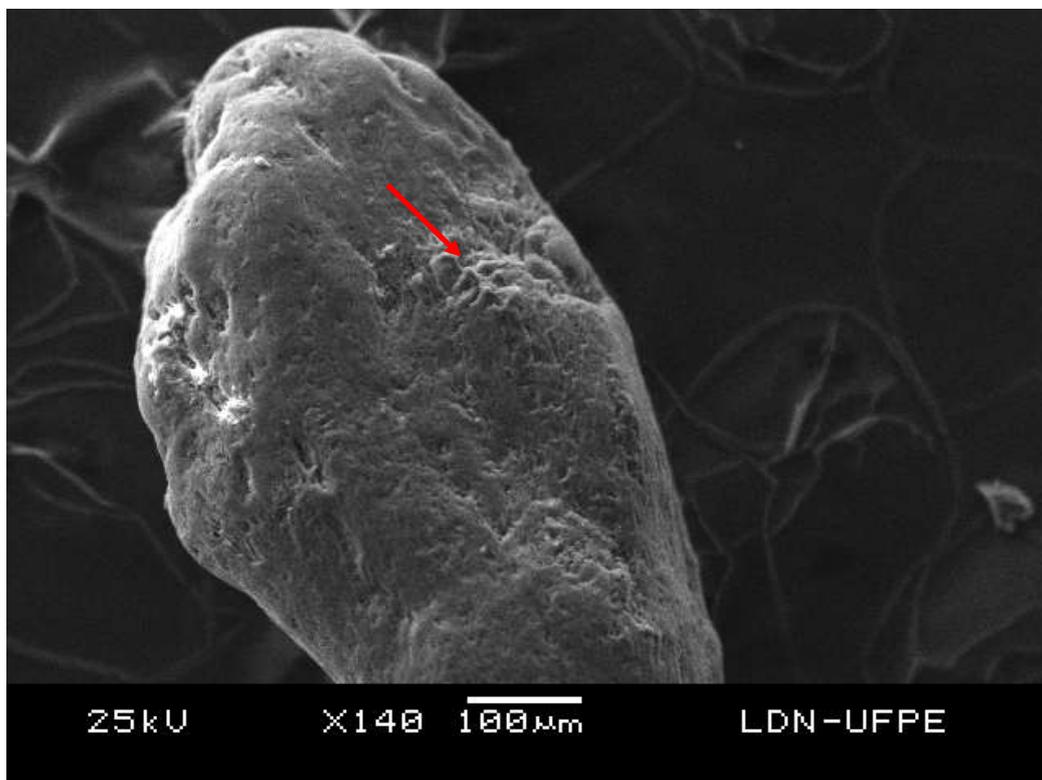


Figura 86: Imagem do MEV de zoom do grão de silimanita, seta indica a presença de cristas irregulares na superfície do grão. (amostra T1N1)



Granada

A granada foi encontrada apenas nos sedimentos de 8 amostras, tendo o maior percentual de concentração (4%) na amostra T1N2 (Figura 87). Apresentou-se em grãos brilhosos, nas colorações rosa, laranja e vermelho puxando para o tom vinho em forma de dodecaedro, arredondadas e euédricas, fraturados com aspecto superficial rugoso. (Figuras 88 e 89).

Figura 87: Gráfico do Percentual de granada nas amostras dos testemunhos 1,2, 3 e 4.

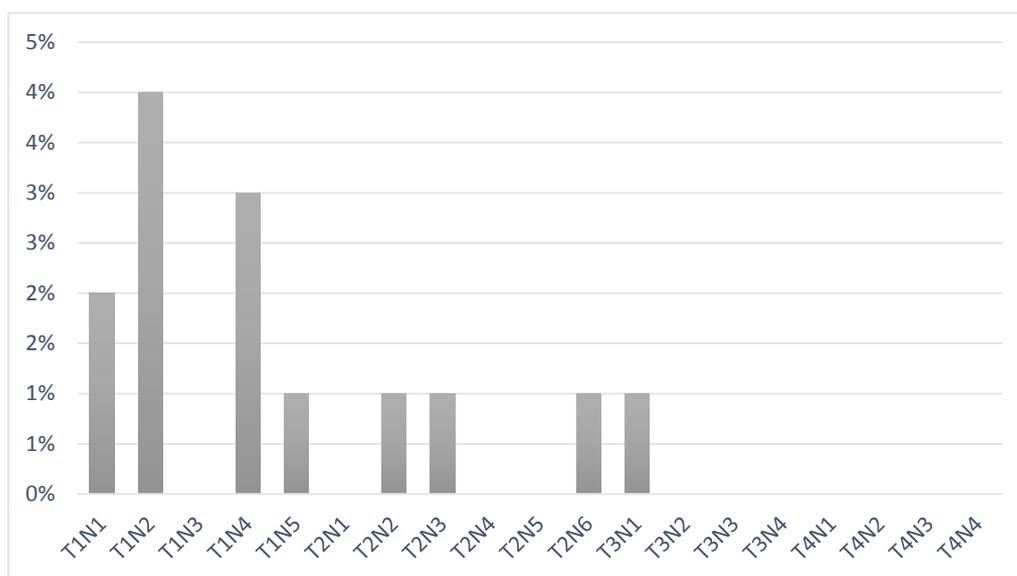
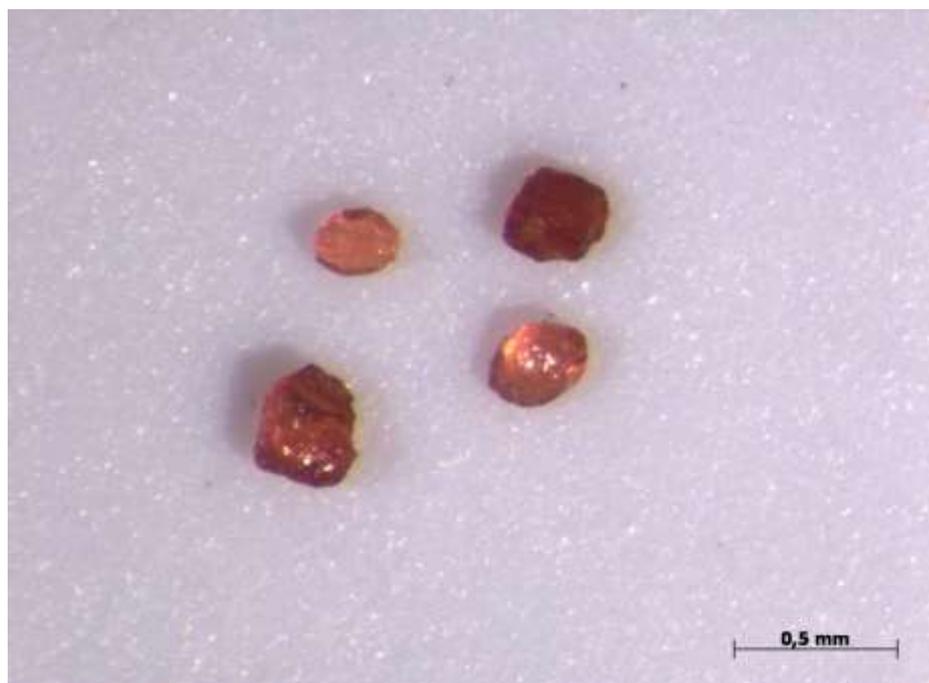


Figura 88: Grãos de granada vermelho/vinho e laranja (amostra T1N2).



Figura 89: Grãos de granada vermelho e laranja (amostra T1N1).



Para uma melhor discussão sobre a frequência dos minerais nas amostras, foram confeccionados gráficos com a porcentagem dos minerais mais abundantes em relação à granulação ao longo de cada testemunho (Figuras 90, 91, 92 e 93).

No testemunho 1, a ilmenita mostra um decréscimo de percentual da base para o topo (Figura 90), enquanto que a granulação aumenta da base para o topo, assim, a maior concentração de ilmenita pode estar associada aos sedimentos mais finos.

Ao longo dos quatro testemunhos foi observado uma maior frequência de zircão em sedimentos mais finos, este caso pode ser observado principalmente no testemunho 2 (Figura 91), é o testemunho que apresenta granulação mais fina em relação aos demais, sendo composto principalmente de areia fina. No testemunho 2 os níveis de concentração deste mineral variam de 15% a 25%, sendo 25% o maior pico de frequência de zircão em todas as amostras. No testemunho 3, o zircão também apresenta maior frequência na amostra T3N4, que é constituída principalmente por areia fina e areia muito fina.

Figura 90: Gráfico do percentual dos minerais pesados mais representativos do testemunho 1 em relação à granulação das amostras ao longo do testemunho.

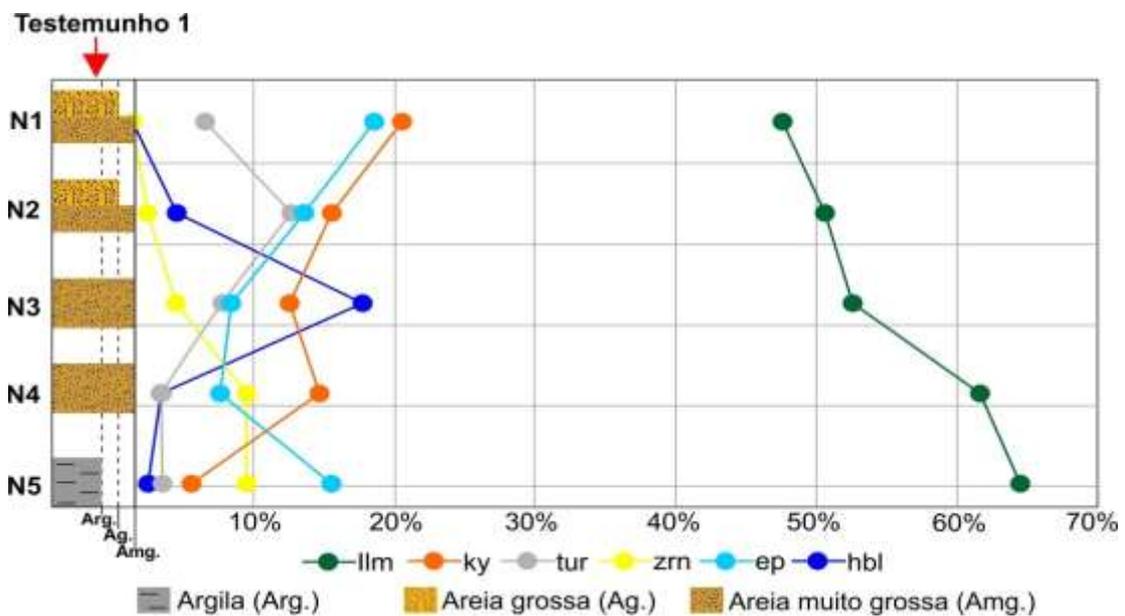
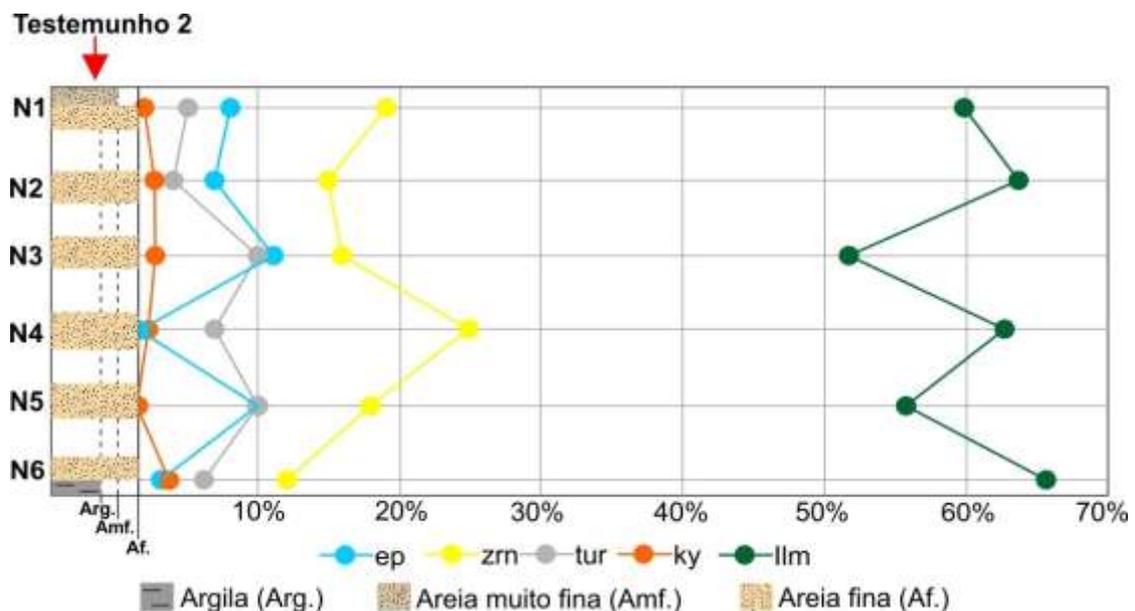


Figura 91: Gráfico do percentual dos minerais pesados mais representativos do testemunho 2 em relação à granulação das amostras ao longo do testemunho.



Ainda em relação ao Testemunho 2, foi observado na amostra T2N4, uma relação contrária entre zircão e epidoto, o maior pico de zircão (25%) está

na mesma amostra onde o epidoto se encontra ausente. Sendo o zircão um mineral ultraestável e o epidoto menos estável, essa diferença de concentração pode estar relacionada a este fato, pois, enquanto o zircão, devido a sua alta estabilidade se manteve no ciclo, o epidoto sofreu perda por conta da sua menor estabilidade.

A cianita, apresentou percentuais de concentrações menores no testemunho 2, este fato pode estar relacionado também ao fator granulação, o tamanho médio das cianitas identificadas foi próximo a 1 mm (areia muito grossa). Este Testemunho é composto predominantemente por areia fina, justificando assim, menor concentração de cianita em relação ao demais. O mesmo foi observado no Testemunho 1, na amostra T1N5.

No testemunho 3 (figura 92) foi observado um pico atípico de concentração de turmalina (33%), tendo em vista os percentuais de outras amostras abaixo de 19%. Este pico ocorre na amostra T3N3, associada também à uma queda no percentual de concentração de ilmenita (48%), que se mostra na maioria das amostras, superior a 51%. A concentração de turmalina também parece estar associada à granulação, tendo em vista menores concentrações no testemunho 1, constituído principalmente por areia muito grossa. A maioria das turmalinas identificadas são menores que 0,5 mm, sendo assim, presente com percentuais maiores em amostras com granulação areia média.

No testemunho 4 (figura 93), o zircão e a turmalina apresentam percentuais de distribuição parecidas, o que pode significar para esses sedimentos o mesmo aporte sedimentar, sugerindo uma mesma área fonte. Já a cianita e ilmenita, mostram curvas contrárias, podendo sugerir que o aporte de ilmenita diminuiu proporcionalmente ao aumento do aporte da cianita.

O domínio dos minerais, de montante para jusante pode ser destacado na Figura 94:

- hornblenda, cianita, epidoto, granada em T1
- zircão, turmalina e epidoto em T2
- cianita, turmalina e zircão em T4;
- turmalina e cianita em T3;

Figura 92: Gráfico do percentual dos minerais pesados mais representativos do testemunho 3 em relação à granulometria das amostras ao longo do testemunho.

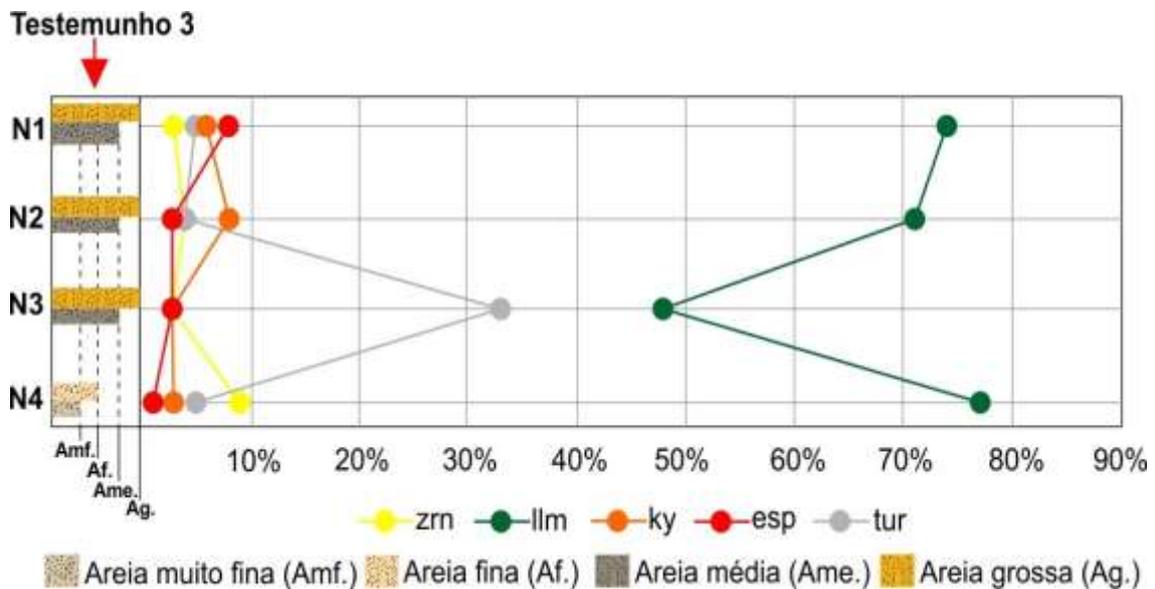


Figura 93: Gráfico do percentual dos minerais pesados mais representativos do testemunho 4 em relação à granulometria das amostras ao longo do testemunho.

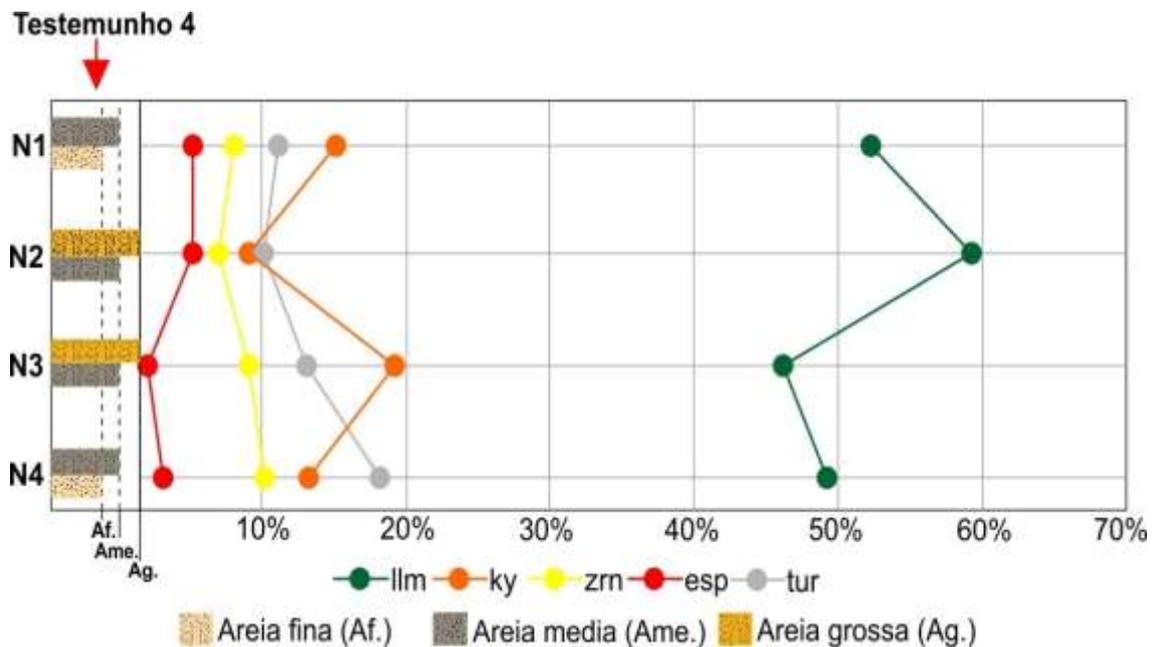
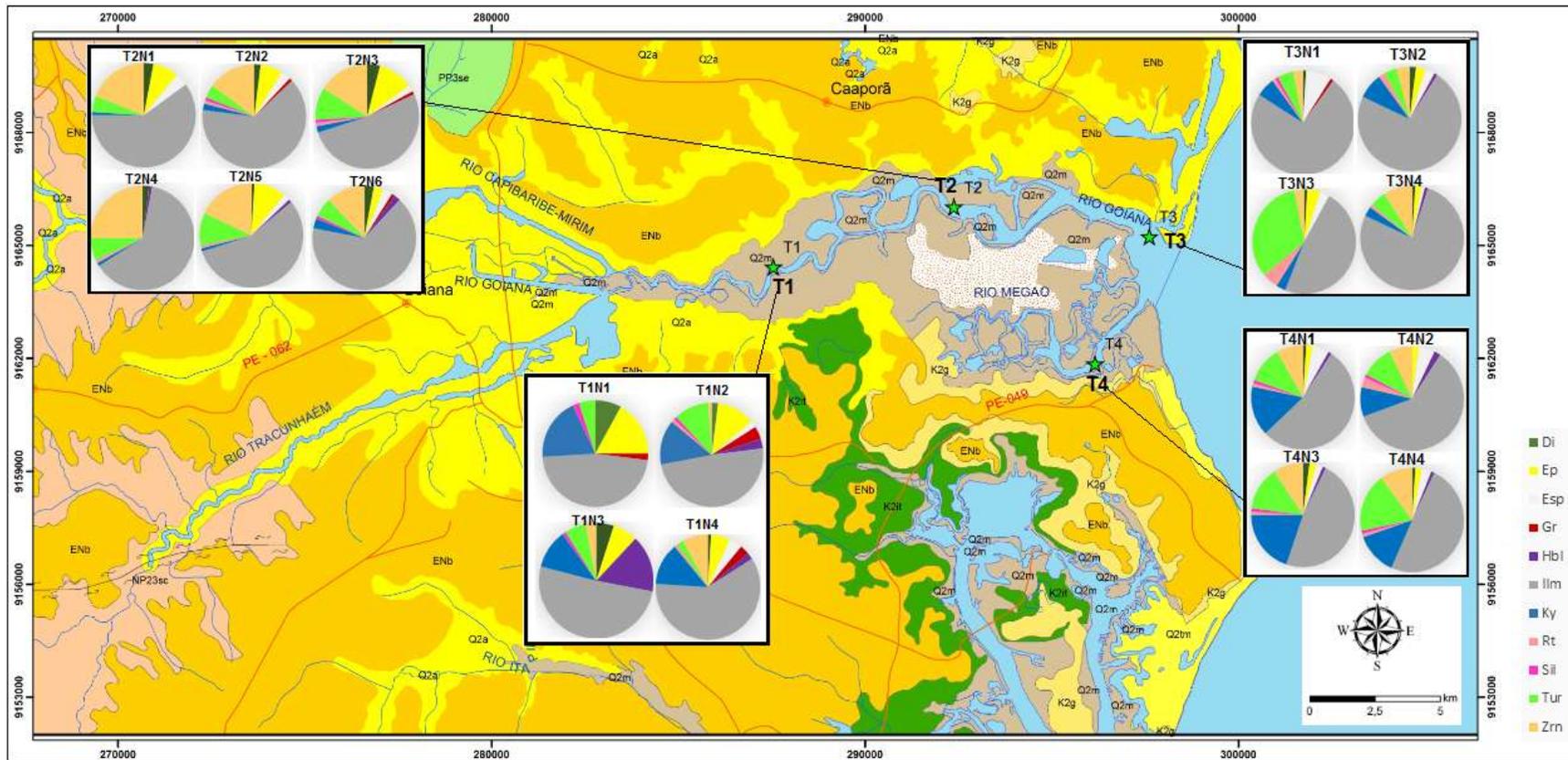


Figura 94: Mapa de localização dos testemunhos com gráfico/percentual de minerais pesados em cada amostra de testemunho.

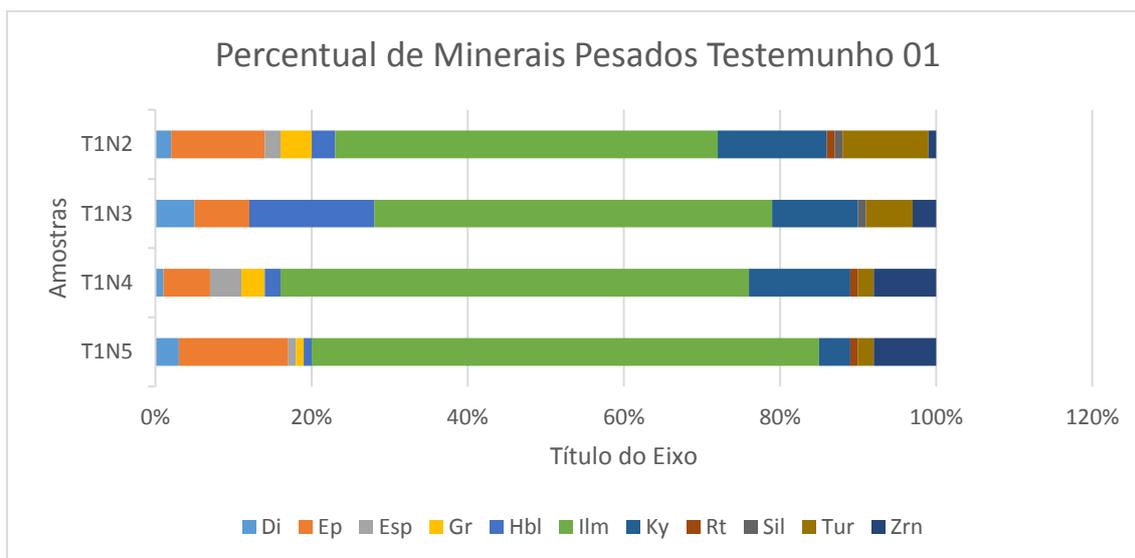


De acordo com alguns eventos históricos, pode-se fazer comparações com a idade das camadas dos testemunhos, e talvez, associar sua granulação a esses eventos. Miranda (2016), no mesmo Sistema Estuarino, descreve alguns desses eventos, associando-os à granulação e idades dos sedimentos. Períodos de secas remetem a sedimentos mais finos, devido a diminuição da capacidade hidráulica de transporte de sedimentos nas bacias. Períodos mais húmidos, sugerem sedimentos de granulações maiores, pois, a corrente do rio tem mais competência em transportar sedimentos mais grossos. Com relação à taxa de sedimentação, de acordo com o trabalho de Souza (2013), os valores nos testemunhos amostrados no rio Goiana, variaram de 1,9 mm/ano a 7,1 mm/ano. Com base neste dado, foi usado como referência neste trabalho a taxa de sedimentação de 3 mm/ano, que é uma média utilizada em diversos estudos. Sendo assim, foi possível fazer algumas relações entre idade, granulação e composição dos sedimentos.

No testemunho 1 o nível 3 possui profundidade de 35,5 cm, sugere idade de deposição aproximada entre os anos 1896 e 1900. De acordo com fatos históricos, esta data coincide com a grande inundação de 1899 (Miranda, 2016). A predominância de areia grossa neste nível, talvez justifique este evento, pois, enxurradas e inundações influem no aumento da entrada de sedimentos com maior granulação, uma vez que o fluxo tem maior competência para transportar grãos maiores. A cianita, por ter sido observada em maiores proporções nas amostras de maior granulação, apresentou um percentual relativamente mais elevado em relação aos outros níveis (Figura 95).

Ainda no testemunho 1, de acordo com a profundidade do nível 5 (56 cm), a sua idade de deposição estima-se entre os anos de 1830 a 1832. Este dado remete a um grande fato histórico ocorrido no Nordeste Brasileiro, “A grande seca do século XIX”, onde houve um período de estiagem. Este fato, talvez justifique a presença da granulação lama neste nível, embora não tenha sido observada grandes mudanças com relação à população de minerais pesados em relação aos outros níveis. Foi observada apenas, uma diminuição na concentração de cianita e aumento de epidoto.

Figura 95: Percentual de minerais pesados no testemunho 01.



No testemunho 2 a relação encontrada entre idade (1773 / 1790) e eventos históricos foi a presença de lama no nível 6, este período coincide com um evento de seca, o que diminui a competência do rio transportar sedimentos mais grossos. Não foi observada nenhuma relação entre este evento e a variação na população de minerais pesados (Figura 96).

No testemunho 3, a possível época de deposição entre 1970 a 1978 no nível 3, coincide com a grande enchente que ocorreu entre os anos 75 e 77, a granulação areia grossa corrobora com esta relação. Com relação à concentração de minerais pesados, neste nível houve diminuição da concentração de ilmenita e aumento das concentrações de turmalina e rutilo. Já no nível 4, variou entre os anos de 1840 a 1848, no ano de 1844 ocorreu uma grande seca, podendo assim, haver relação com a granulação areia muito fina. Ainda neste nível, foi observado o aumento das populações de ilmenita e zircão (minerais observados em maior concentração em sedimentos mais finos) e diminuição de cianita, mineral observado em maior abundância em sedimentos mais grosseiros (Figura 97).

Figura 96: Percentual de minerais pesados no testemunho 02.

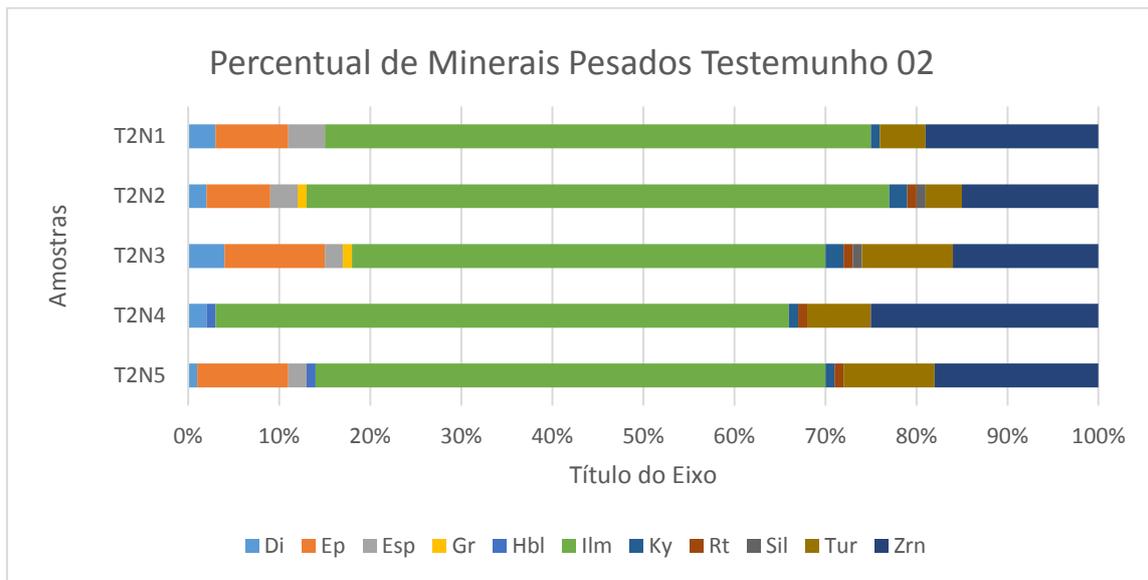
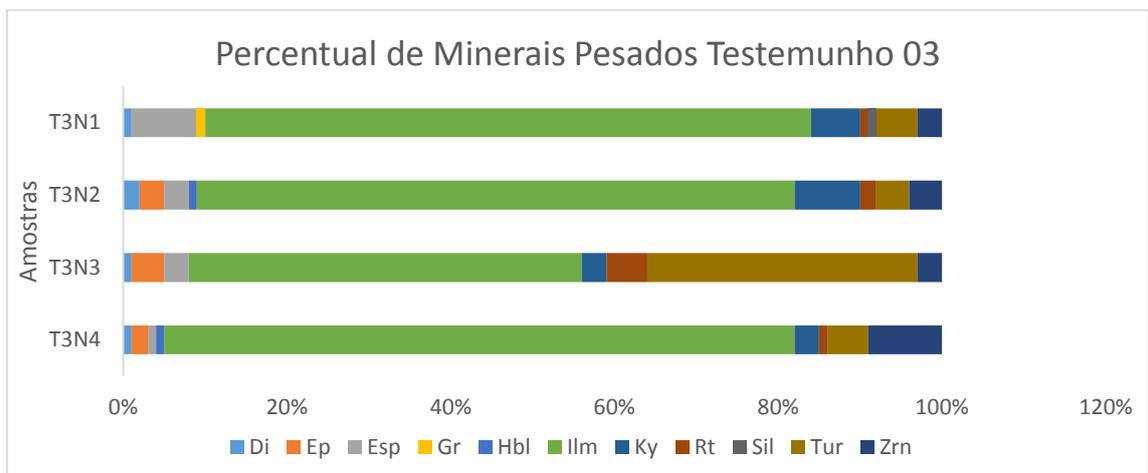


Figura 97: Percentual de minerais pesados no testemunho 03.



No testemunho 4 não foi observada nenhuma relação entre a idade de deposição dos sedimentos e eventos históricos, assim como também não foi possível fazer relação com a população de minerais pesados.

5.4. PROCESSOS ATUANTES:

A presença de minerais pesados em determinados depósitos (continentais, costeiros ou marinhos) sugere a intensidade e duração do transporte sedimentar, tendo em vista sua densidade. Segundo França, (2013), a dispersão desses minerais provenientes do intemperismo e erosão das

rochas podem ser avaliadas analisando-se a presença de assembleias de minerais pesados.

Na intenção de definir o papel de cada um dos processos envolvidos (intemperismo, transporte, condições hidráulicas e diagênese) na geração de assembleias dos minerais pesados, e assim, isolar alguns efeitos impostos pela fonte, foram utilizadas razões minerais, que são comparativamente imunes a alterações durante o ciclo sedimentar (Silva, 1999). Neste estudo, as razões minerais utilizadas foram: Índice de maturidade mineralógica ZTR (Zircão + Turmalina + Rutilo), Ru-Zi (Rutilo + Zircão).

Outros índices mineralógicos também são muito importantes para estudos de proveniência, porém para este trabalho não foi possível serem utilizados diante da ausência de determinadas variedades de minerais pesados nos sedimentos arenosos do Rio Goiana/Megaó.

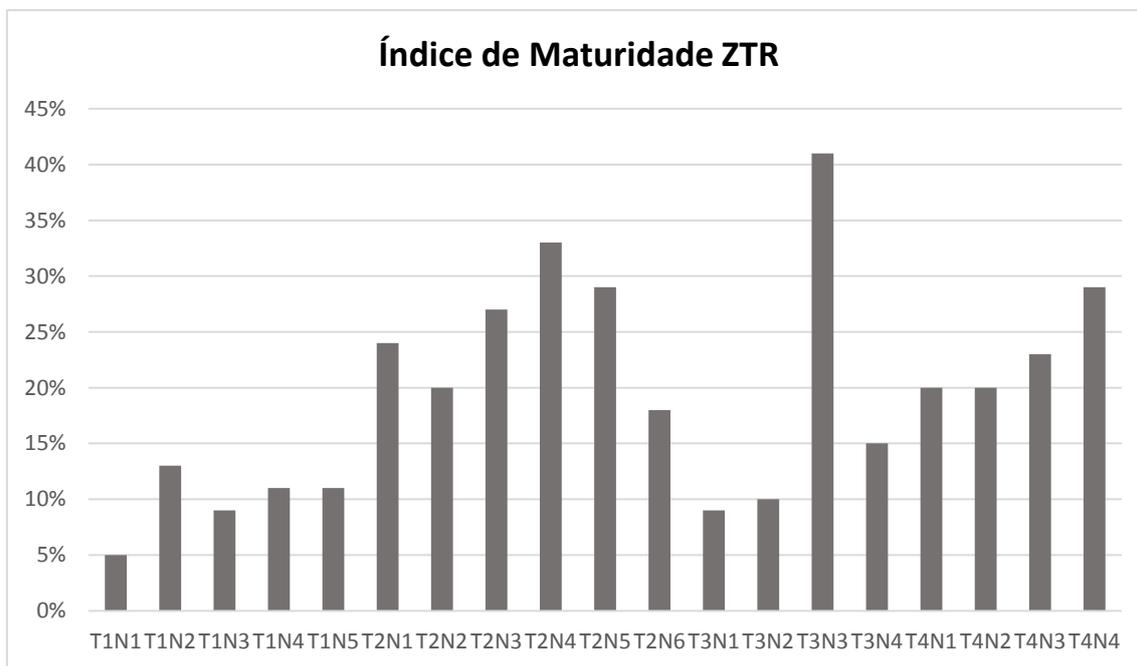
5.4.1 Índice de maturidade mineralógica ZTR (Zircão + Turmalina + Rutilo)

Minerais como Zircão, Turmalina e Rutilo, são mais resistentes ao intemperismo físico e químico, sendo assim, grãos que resistem bem ao transporte sedimentar. O índice ZTR (Zircão+Turmalina+Rutilo) é utilizado para caracterizar o grau de maturidade da assembleia mineralógica, expresso em porcentagem, corresponde à soma das frequências numéricas entre os minerais (Morton & Hallswort, 1994).

Na área de estudo os maiores índices identificados foram de 30% a 43% (amostras T3N3 e T2N4) (Figura 98), os demais índices variam de 8% a 27%. Sendo assim, todas as amostras apresentam índices inferiores à 50%, sugerindo um índice de maturidade relativamente baixo a médio.

Nas amostras dos testemunhos 1 e 3 o índice ZTR se mostrou mais baixo em relação aos demais testemunhos, no Testemunho 1, o baixo índice de maturidade pode estar relacionado à granulação dos minerais pesados, tendo em vista que este testemunho é composto predominantemente por areia muito grossa, diminuindo assim, as concentrações de zircão e turmalina.

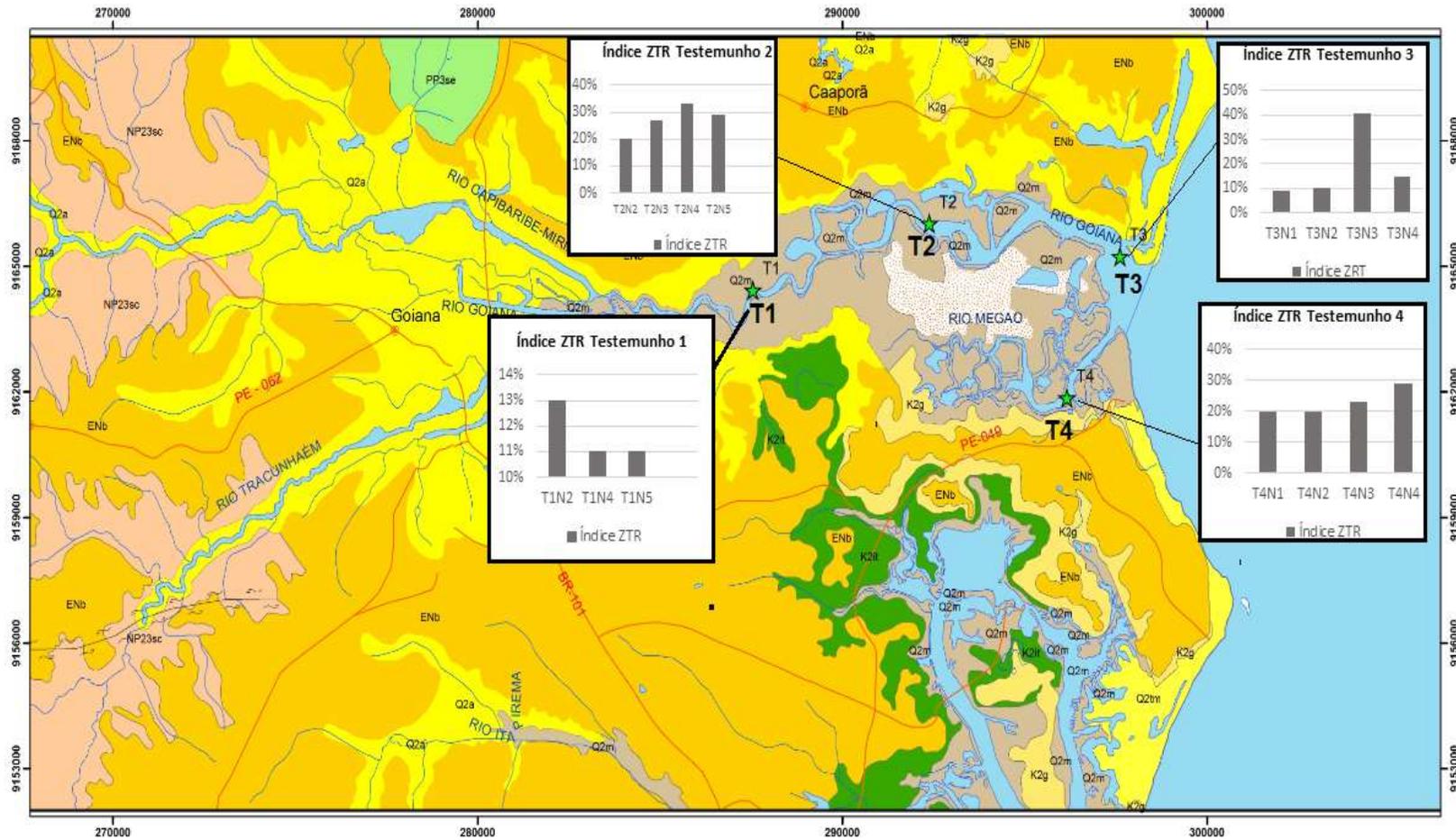
Figura 98: Índice de maturidade mineralógica, ZTR (Zircão + Turmalina + Rutilo) das amostras analisadas (%).



Os testemunhos, cujos sedimentos apresentaram maior maturidade, estavam localizados nas curvas de meandro do canal principal, locais onde ocorre diminuição de energia do fluxo (Figura 99). Conseqüentemente ocorre uma perda de competência da corrente e assim deposição dos minerais mais densos. Turmalinas e zircões possuem densidade superior aos demais minerais identificados, este fato talvez justifique maior maturidade mineralógica nessas áreas, tendo em vista que nas amostras, predominam sedimentos relativamente imaturos.

Segundo (Hubert, 1962), sedimentos com maturidade mineralógica alta, geralmente estão associados ao efeito da dissolução intraestratal nos minerais. 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 (Morton e Hallsworth, 1999). Nos grãos identificados foram observadas tanto marcas de dissolução química como também, em maior proporção, marcas associadas ao desgaste físico, sugerindo o predomínio do intemperismo físico

Figura 99: Mapa dos pontos de coleta de testemunhos com os respectivos Índice de maturidade mineralógica, ZTR (zircão + turmalina + rutilo) das amostras analisadas (%).

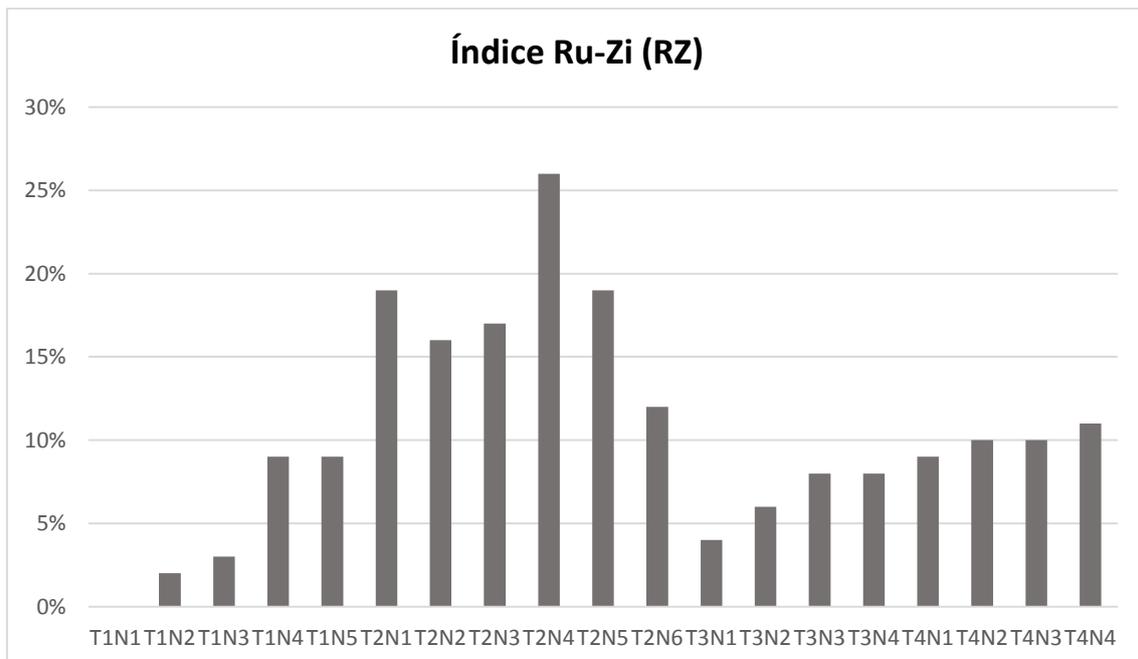


5.4.2 Ru-Zi (Rutilo + Zircão)

O índice Ru – Zi (RZ) indica 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 (França, 2013).

Este índice apresenta maiores valores nas amostras do testemunho 02, variando de 16% a 26% (Figura 100). Nas amostras dos testemunhos 01 e 03, este índice apresenta valores inferiores a 10 %, enquanto nas amostras do testemunho 04 apresenta valores variando entre 9% e 11%. Por se tratar de minerais que possuem estabilidade hidráulica equivalente, provavelmente o intemperismo não é o responsável por esta variação. Esses resultados sugerem, que os valores mais elevados de RZ (testemunho 2) estão justificados pela localização deste testemunho, na curva de meandro do canal principal, locais onde ocorre diminuição de energia do fluxo.

Figura 100: Percentual do índice Ru-Zi (RZ) nas amostras.



5.5 PROVENIÊNCIA

A forte presença da ilmenita nas amostras, deve-se provavelmente ao alto teor nas áreas fontes, já que é um mineral presente em rochas ígneas e metamórficas, esse mineral está presente na maioria das litologias presente à montante, nas rochas metamórficas dos Complexos Surubim Caroolina, Vertentes e Salgadinho e no Ortognaisse Mata Limpa, assim como, nas rochas sedimentares da Formação Barreiras.

A cianita, associada a rochas metamórficas (metamorfismo regional) do tipo gnaisses e micaxistos, é frequente em sedimentos de aluviões e litorâneos (Pereira *et al.* 2005). Com base nesses dados, pode-se inferir que a proveniência dos grãos de cianita está relacionada às rochas metamórficas (gnaisses) do Complexo Surubim Caroolina e também oriundos da Formação Barreiras.

A ocorrência de turmalina está associada à pegmatitos graníticos, granitos, filões pneumatolíticos, calcários metamórficos, sedimentos de origem marinha, turmalinitos e evaporitos (Pereira *et al.*, 2005). De acordo com a geologia da área fonte, as turmalinas prismáticas, podem estar relacionadas às rochas metamórficas do Complexo Surubim. Os grãos mais arredondados, podem sugerir uma história policíclica, provenientes dos sedimentos da Formação Barreiras.

Com relação ao zircão, os grãos que possuem hábitos prismáticos, normalmente euédricos, são de provável origem magmática. Zircões prismáticos de coloração rosa, castanho e creme são provenientes de rochas ígneas. Sendo assim, é possível inferir que esses grãos são de origem ígnea (grãos prismáticos incolores) e vulcânica (grãos prismáticos coloridos). Na área de estudo, essa assembleia de zircões deve ser advinda das rochas ígneas da Suíte intrusiva Conceição, apesar de, neste trabalho não ter sido realizada coleta de rocha desta unidade, no entanto, CPRM, (2010) comprovam a presença de zircão. Zircões metamórficos em geral, possuem terminações arredondadas, enquanto os de rochas de alto grau metamórfico tendem a formas ovóides (França, 2013). Pode-se inferir que a assembleia de zircões identificados com estas características, tem como potencial fonte as rochas metamórficas dos Complexos Surubim Caroolina, Vertentes, Salgadinho e do Ortognaisse Mata Limpa. A alta estabilidade física e química, torna o zircão um mineral frequente em rochas sedimentares detríticas. Por isso, formas arredondadas sugerem que as fontes mais próximas para esse mineral sejam rochas sedimentares preexistentes (Hoskin & Black, 2000). Os zircões

arredondados, identificados neste estudo, devem estar relacionados aos sedimentos da Formação Barreiras.

O epidoto pode ser proveniente do metamorfismo de rochas básicas, cristaliza-se em todas as condições de metamorfismo regional e é bastante comum em aluviões (Pereira *et al.* 2005). Na área de estudo, em afloramentos à montante do rio, foi observada sua presença nas rochas metamórficas dos Complexos Vertentes e Salgadinho, sendo essas suas potenciais áreas fonte.

A ocorrência do espodumênio está associada a granitos e pegmatitos ricos em lítio, e também, raramente em aluviões (Pereira *et al.* 2005). Por se tratar de um mineral de origem ígnea, é provável que a assembleia identificada nas amostras seja oriunda das rochas ígneas da Suíte Intrusiva Conceição (CPRM, 2010).

O diopsídio ocorre em rochas metamórficas (xistos e gnaisses), na área de estudo, sendo observado nas rochas do Complexo Surubim (Neoproterozoico), a potencial área fonte desse mineral.

O rutilo está presente na maioria das rochas da crosta, frequente em amostras de aluviões e depósitos litorâneos. O rutilo é um mineral estável em sistemas sedimentares e sua presença indica fontes constituídas por metabasitos ou metapelitos (Zack *et al.*, 2004). Sua proveniência provavelmente está relacionada aos sedimentos da Formação Barreiras, descritos por França, (2013), e também por não ter sido observado em outras unidades das amostras de rochas analisadas neste trabalho, nem nos resultados de CPRM, (2010).

A hornblenda é um mineral formador de rochas e ocorre tanto em rochas magmáticas quanto metamórficas (é particularmente característico das rochas metamórficas). Ocorre frequentemente em depósitos de sedimentos recentes, raro em depósitos antigos devido ao seu grau de alteração (Pereira *et al.*, 2005). Associando-se então sua proveniência às rochas metamórficas dos complexos Vertentes, Salgadinho, Surubim Caroolina e rochas ígneas da Suíte Intrusiva Conceição.

A ocorrência de silimanita está relacionada a rochas metamórficas de altas temperaturas e pressões, frequentemente encontrada em amostras de aluviões (Pereira *et al.*, 2005). Esse mineral sugere fontes metamórficas, provavelmente advindas dos Complexos Vertentes e Surubim Caroolina.

A granada é um mineral comum em rochas da crosta (Pereira *et al.* 2005), e amplamente distribuído, ocorre de forma abundante em algumas rochas

metamórficas e como um constituinte acessório em algumas rochas ígneas (Klein & Dutrow, 2012). A granada está presente nas rochas metamórficas dos Complexos Vertentes, Salgadinho e Surubim Carolina (CPRM, 2010), portanto, é provável que as granadas identificadas nas amostras sejam provenientes dessas fontes metamórficas.

6 CONCLUSÕES

Os sedimentos do Sistema Estuarino Goiana/Megaó possuem uma significativa variedade mineralógica devido à diversidade de áreas-fonte drenadas pelos seus afluentes. O estudo dos minerais pesados permitiu identificar a composição e maturidade mineralógica dos depósitos fluviais recentes e pretéritos do rio Goiana, bem como inferir potenciais áreas-fontes para esses depósitos.

Ao longo do rio Goiana/Megaó, os níveis de concentração de minerais pesados variaram. Os pesados de maior densidade, como turmalina e zircão, tenderam a se concentrar, em maiores proporções, nas áreas internas de meandros (T2 e T4), que são mais propícias para a deposição destes, tendo em vista a diminuição do potencial hidráulico do rio.

O mineral de maior concentração nas amostras foi a ilmenita. O que provavelmente está relacionado ao fato deste ser um mineral muito comum em todos os tipos de rochas: magmáticas, metamórficas e sedimentares. Os resultados indicam, como potenciais áreas-fontes as rochas metamórficas dos Complexos Surubim Caroalina (Neo-Proterozóico), Vertentes (Neo-Proterozóico), Salgadinho (Paleo-Proterozóico) e Ortognaisse Mata Limpa (Neo-Proterozóico), assim como, as rochas ígneas da Suíte Intrusiva Conceição (Neo-Proterozóico).

A proveniência dos grãos de cianita provavelmente está relacionada às rochas metamórficas (gnaisses) do Complexo Surubim Caroalina (Neo-Proterozóico). As turmalinas prismáticas, relativamente pequenas, possivelmente estariam relacionadas às rochas metamórficas do Complexo Surubim Caroalina (Neo-Proterozóico), enquanto as turmalinas maiores (1 mm) provavelmente estariam associadas à pegmatitos. Os grãos mais arredondados, sugerem uma história de vários ciclos de transporte e sedimentação, e podem ser provenientes das rochas sedimentares da Formação Barreiras (Neógeno - Quaternário).

O zircão, por sua vez, é possível inferir que são de origem ígnea (grãos prismáticos incolores), provavelmente das rochas ígneas da Suíte intrusiva Conceição e vulcânica (grãos prismáticos coloridos, mais finos). Já os grãos com terminações mais arredondadas ou ovoides tem origem metamórfica, sua potencial fonte são as rochas metamórficas do Complexo Surubim Caroalina, Complexo Vertentes, Complexo Salgadinho e Ortognaisse Mata Limpa. Os zircões

arredondados, identificados neste estudo, devem estar relacionados aos sedimentos da Formação Barreiras.

O epidoto foi observado nas rochas metamórficas dos Complexos Vertentes e Complexo Salgadinho, sendo essas suas possíveis áreas fonte. A presença de minerais moderadamente estáveis, como o epidoto, sugere que este sistema fluvial está em constante reabastecimento.

A ocorrência do espodumênio deve estar associada às rochas ígneas da Suíte Intrusiva Conceição. O diopsídio provavelmente está associado às rochas metamórficas do Complexo Surubim.

Em dados da literatura, o rutilo foi observado apenas nas rochas sedimentares do Formação Barreiras, sendo esta, sua potencial fonte.

A hornblenda, é possível que esteja associada às rochas metamórficas dos complexos Vertentes, Salgadinho, Surubim Caroolina e/ou rochas ígneas da Suíte Intrusiva Conceição, além dos sedimentos da Formação Barreiras.

A ocorrência de silimanita sugere fontes metamórficas, no contexto deste rio, provavelmente advindas dos Complexos Vertentes e Surubim Caroolina.

A granada está presente nas rochas metamórficas dos Complexos Vertentes, Salgadinho e Surubim Caroolina, sendo essas suas prováveis fontes metamórficas.

Foi possível fazer algumas relações espaciais entre tempo de deposição e eventos históricos ambientais. Entretanto, a comparação dos resultados em profundidade entre os testemunhos, na mesma profundidade, não foram os mesmos. Para se inferir este tipo de relação talvez seja necessário estudo mais detalhado com estes objetivos específicos.

Do ponto de vista da maturidade mineralógica, os resultados apresentaram o domínio de minerais estáveis ou moderadamente estáveis como zircão, turmalina, cianita e epidoto, em comparação aos minerais instáveis como hornblenda e diopsídio. O índice ZTR, revelou sedimentos com maturidade inferior a 50% (baixa a média), sendo os menos maduros associados à granulação areia muito grossa ou à área da foz. Os sedimentos com maior maturidade foram observados em meandros (porção interna). Conclui-se que os sedimentos deste rio são predominantemente imaturos, o que sugere uma fonte relativamente próxima.

O índice RZ (Rutilo – Zircão) apresentou maiores valores nas amostras do testemunho 02 (16% a 26%) e menores nos demais testemunhos (inferior a 11%). Por se tratar de minerais que possuem estabilidade equivalente, provavelmente o

intemperismo não é o responsável por esta variação. Sugerindo que os valores mais elevados de RZ estão justificados pela localização do testemunho (curva de meandro do canal principal), local onde ocorre diminuição de energia do fluxo.

A textura superficial dos grãos permitiu algumas conclusões. Com relação ao transporte, pode-se concluir que houve a predominância por meio aquoso, justificado pela superfície brilhosa dos grãos (típica desta modalidade de transporte). Marcas de transporte/desgaste físico foram predominantes em relação às marcas de dissolução, sugerindo o predomínio do intemperismo físico.

A utilização de testemunhos de sedimentos em estudos de proveniência sedimentar a partir de minerais pesados, pode ser uma ferramenta muito interessante, embora não tenha sido encontrado algum tipo de trabalho utilizando este método. Uma vez que, em determinado momento pretérito, alguma fonte específica tenha deixado de abastecer o rio, esta situação seria evidenciada pela ausência de determinadas espécies de minerais naquele nível. Sendo assim, se os minerais pesados da base (deposição mais antiga) dos testemunhos forem diferentes dos minerais pesados do topo (deposição mais recente), seria evidencia de que alguma fonte deixou de alimentar rio, ou ainda, outra fonte foi adicionada. No contexto deste trabalho, não houveram variações significativas em relação às espécies de minerais pesados, sugerindo assim que as áreas fonte destes sedimentos sempre foram as mesmas há desde aproximadamente 241 anos atrás até os dias atuais.

O estudo de Raios-x em testemunhos de sedimentos pode ser uma boa ferramenta, quando o objetivo é identificar presença de matéria orgânica e diferenciação granulométrica. Embora, em alguns testemunhos deste trabalho, o contraste tenha sido evidenciado em uns e em outros não, este fato deve estar relacionado ao posicionamento do testemunho na hora de tirar a radiografia.

REFERÊNCIAS

Ab`Saber, A. N. 1970. *Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos do Brasil*. São Paulo: Geomorfologia. v. 20, 26 p.

Ab`Saber, A. N. 1990. *Painel das interferências antrópicas na fachada atlântica do Brasil – Litoral e retroterra imediata*, In: Anais do II simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira. vol. 4, Águas de Lindóia (SP). São Paulo: Aciesp, nº 71, PP. 1-24. Os domínios da natureza do Brasil. Pontecialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê, 2003, 160 p.

Adams, A. E.; Mackenzie, W. S.; Guilford, C. *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*. Essex: Longman, 1984., 104 p. ISBN 0-582-30118-1 : (broch.)

Addad, J.E. 2001. *Minerais pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental*. São Paulo: Edição independente. 80 p.

Alheiros, M. M.; Lima Filho, M. F.; Monteiro, F. A. J.; Oliveira Filho, J. S. 1988. *Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, v.2, p.753-760.

Almeida. N. M., Lehueur, L. G. O., Freire, G. S., Santos, D. M., Aguiar Neto. A.B. *Assembléia de Minerais Pesados da Plataforma Continental - Porção Oeste do Estado do Ceará, Brasil - Revista de Geologia, Vol. 24, nº 1, 21-27, 2011*

Aprile. F. M. & Farias V.P. *Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Goiana, Pernambuco – Brasil – Bioikos, PUC – Campinas, 15 (2): 109 -11, 2001.*

Barbosa, J. A. 2004. - *Evolução da Bacia Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno – Formação Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil*. Dissertação Mestrado, Pós-Grad.Geociências - UFPE, 217p.

Barbosa, J. A. 2007. – *Estratigrafia da faixa costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil*. Tese Doutorado, Pós-Grad.Geociências - UFPE, 270p.

Barbosa, J. A., Neumann, V.H., Lima Filho, M. F., Souza, E.M., Moraes, M.A. 2007. - *A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos*. Estudos, 17:3-30.

Beurlen, K., 1967a. *Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa*. Bol. Geol.São Paulo.16(1): 43-53.

BEURLIN, K. 1967b - *Paleontologia da faixa costeira Recife-João Pessoa*. Bol. Geociências, São Paulo. 16(1):73-79.

Calliari, L.J.; Fischler, C.T. & Berquist, C.R. 1990. *Heavy-mineral variability and provenance of the Virginia inner shelf and lower Chesapeake Bay*. Virginia: Virginia Division of Mineral Resources, 124 p.

Correia Filho, O. J.; Alencar, M. L.; Barbosa J. A.; Neumann, V. H.; 2016. Proposta de formalização da Formação Tambaba, Eoceno da Bacia Paraíba, NE do Brasil. *Estudos Geológicos* Vol. 25 (2): p 61-81.

CPRH. 1996. *Monitoramento da qualidade da água das bacias do Estado de Pernambuco 1995*, Ger. Recursos Hídricos, CPRH. Relatório Anual, Recife, PE

CPRH. 1997. *Monitoramento da qualidade da água das bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco 1996*, Ger. Recursos Hídricos, CPRH. Relatório Anual, Recife, PE.

CPRH, 2005. *Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco*, 2004. Recife. Disponível em <http://www.cprh.pe.gov.br>.

CPRM. 2010. Carta Geológica Folha Surubim. SB. 25-Y-C-IV. Escala 1: 100.000

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

Emery, K.O, Noakes, L.C., 1968. *Economic placer deposits of the continental shelf*. *Technical Bull.* Economic Commission for Asia and Far East, U.N., 1: 95-110.

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.

França, P. P. *Caracterização de minerais pesados e avaliação da radioatividade natural "IN SITU" em sedimentos praias de Acaú, Carne de Vaca e Ponta de Pedras do Estuário do Rio Goiana*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. UFPE – Recife: 2013. 76f.

Garlipp, A.B., Souza Neto, J.A, Valença, L.M.M., Manso, V.V. *Variabilidade histórica de elementos maiores e traços em testemunhos de sedimentos do estuário Goiana-Megaó, Pernambuco, Brasil*. X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, 7p. 2010.

Goddard. E. N., Parker. D. T., Ronald. K. F., Olaf. N. R., Josepf. T. S., Overbeck. R. M. *The Rock-Color Chart*. Committee. Geological Society of America. Boulder, Colorado, U.S.A. 1948

Hoskin, P.W.O. & Black, L.P. 2000. *Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon*. Journal of Metamorphic Geology, 18: 423- 439.

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

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.

Kegel, W. 1954. *Nota sobre os microfósseis do fosfato Cretáceo de Pernambuco*. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. 3(1): 73-76.

Klein, C. & Dutrow, B. 2012. *Manual de ciência dos minerais; tradução e revisão técnica*. Porto Alegre, Bookman, 706p.

Lacerda, F.; Ferreira, M. A. F.; Souza, W. M. de. *Climas do Estado de Pernambuco*. 2006 In: SANTOS, A. M. *Impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Goiana – Pernambuco: / Antonio Marcos dos Santos. – Recife*

LAGESE, 2003. - *Relatório Técnico*, 200p.

Lima Filho, M. F. 1998. *Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco*. IGUSP. Tese de Doutorado, 139 p.

Mabesoone, J. M. 1983. *Sedimentologia*. 2. Ed. Ver. ed atual. Recife, UFPE Universidade Federal de Pernambuco, Ed.Universitária. 475 p.

Mabesoone, J.M., Alheiros, M.M. 1988 - *Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco/Paraíba*. Rev. Bras. Geociências., 18:476-482.

Mabesoone, J. M. & Alheiros, M. M. 1991. *Base Estrutural - Faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte*. Estudos Geológicos. Recife, UFPE/DGEO, Estudos e Pesquisas, v.10, Série. B, 33 – 43.

Machado, T. F. 2011. *Proveniência das areias inconsolidadas do Rio Jacuí – RS – Porto Alegre*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 73 p.

Mezzadri, G. & Sacconi, E. 1989. *Heavy mineral distribution in late quaternary sediment dispersal in sedimentary basins at active margins*. Journal of Sedimentary Petrology, 59 (3): 412-422.

Miranda, J. B. de. 2016. *Evolução geoquímica e ambiental dos sedimentos médio-estuarinos do Rio Goiana- Pernambuco, nos três últimos séculos / Josineide Braz de Miranda*. - 2016. 152folhas.

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. and C.R. Hallsworth 1994. *Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones*. Sedimentary Geology, v. 90, p. 241-256.

Morton, A.C. 1984. *Stability of detrital heavy minerals in Tertiary sandstones from the North Sea Basin*. Clay Minerals, 19: 287-308.

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. 112p

Pettijohn, F.J.; Potter, P.E. & Siecer, R. 1973. *Sand and sandstone*. New York, Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag. 618p.

Rocha, B.C., Silva, H.P., Melo, A.L., Silva, H.D.B., Dos Anjos, C.S., 2009. *Análise temporal através do sensoriamento remoto no estuário dos rios Goiana e Megaó*. in JEPEX, Recife.

Santos, L.S. & Gasparetto, N.V.L. 2008. *Minerais Pesados dos Depósitos Aluviais do Rio Paraná e sua Implicação Paleohidrológica*. Revista Pesquisas em Geociências, 35 (2): 71-81, 2008, ISSN 1807-9806 - Instituto de Geociências, UFRGS - Porto Alegre, RS – Brasil. 71 – 80 p.

Santos, A. M. 2009; Galvíncio, J. D. *O fenômeno de La Niña atuando sobre a precipitação pluviométrica do município de Timbaúba – Pernambuco*. In: Encontro Nacional De Pós - Graduação Em Geografia. 8., 2009. Curitiba. Anais... Curitiba. [CD-ROM]

Santos, A. M. 2008; Galvínvio, J. D.; Moura, M. S. B de. *Homogeneização da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana - PE, com método de análise de agrupamento*. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v.1, n.1, mai/ago. p.14-27.

Santos. A. M. 2010 *Impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Goiana – Pernambuco: / Antonio Marcos dos Santos*. – Recife: 2010. 115 folhas. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia.

Silva. M. G. 1999 Caracterização de minerais pesados ao longo do Rio Piranhas-Açu/RN: distribuição e proveniência. – UFRN - Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica. Dissertação de mestrado. 158p

Souza, E.M. 1999 - *Levantamento radiométrico das unidades estratigráficas da Bacia da Paraíba*. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geociências, UFPE, 168p.

Souza, E.M., 2006 - *Estratigrafia da Seqüência Clástica Inferior (Andares Coniaciano Maastrichtiano Inferior da Bacia da Paraíba e suas implicações paleogeográficas*. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Geociências, UFPE, 358p.

Souza, N. G. A. 2013. *Mapeamento geológico e diagnóstico das concentrações de elementos maiores e traços em sedimento de fundo do rio Capibaribe Mirim na região entre as cidades de Timbaúba e Macaparana (PE)*. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geociências, UFPE. 158p.

Tomazelli, L.J. 1978. *Minerais pesados da plataforma continental do Rio Grande do Sul*. Acta geológica Leopoldensia, 5(2): 159 p.

Weltje, G.J. e von Eynatten, H. 2004. *Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook*. Sedimentary Geology, 171: 1-11.

Zack T., Eynatten V.H., Kronz A. 2004. *Rutile geochemistry and its potential use in quantitative provenance studies*. Sed. Geol., 17(1-4):37-58.

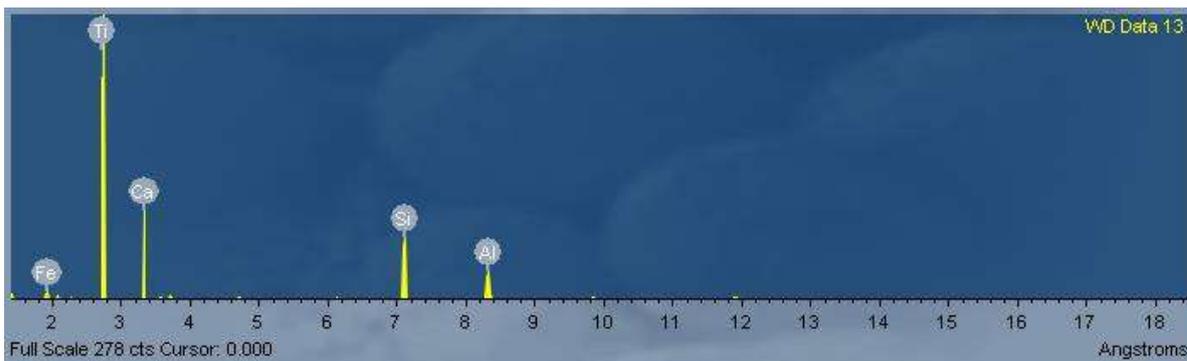
ANEXO A - TABELA COM AS COORDENADAS DOS TESTEMUNHOS.

TESTEMUNHOS	COORDENADAS
Testemunho 01	0287551 9164444
Testemunho 02	0292393 9166034
Testemunho 03	0297619 9165250
Testemunho 04	0296169 9161870

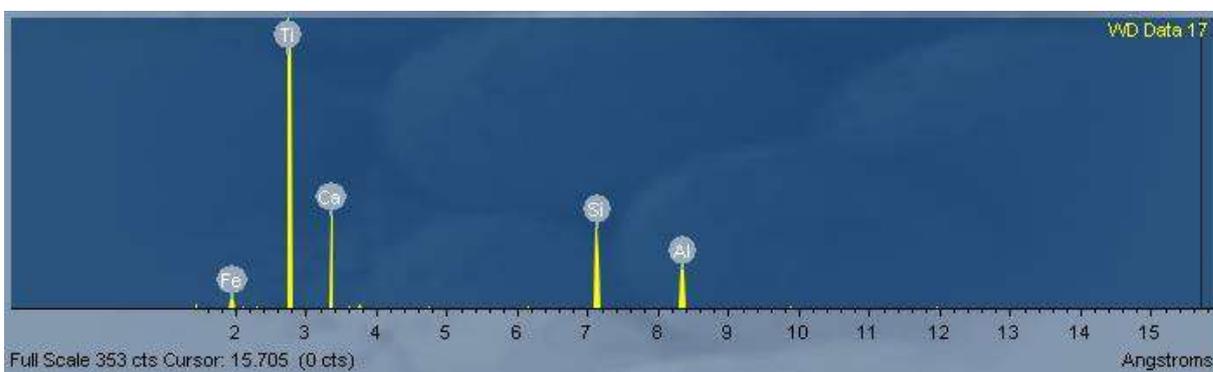
ANEXO B - PERCENTUAL DOS MINERAIS IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DOS TESTEMUNHOS 1, 2, 3 E 4.

AM	Di	Ep	Esp	Gr	Hbl	Ilm	Ky	Rt	Sil	Tur	Zrn
T1N1	8%	17%	N.O.	2%	N.O.	47%	19%	N.O.	2%	5%	N.O.
T1N2	2%	12%	2%	4%	3%	49%	14%	1%	1%	11%	1%
T1N3	5%	7%	N.O.	N.O.	16%	51%	11%	N.O.	1%	6%	3%
T1N4	1%	6%	4%	3%	2%	60%	13%	1%	N.O.	2%	8%
T1N5	3%	14%	1%	1%	1%	65%	4%	1%	N.O.	2%	8%
T2N1	3%	8%	4%	N.O.	N.O.	60%	1%	N.O.	N.O.	5%	19%
T2N2	2%	7%	3%	1%	N.O.	64%	2%	1%	1%	4%	15%
T2N3	4%	11%	2%	1%	N.O.	52%	2%	1%	1%	10%	16%
T2N4	2%	N.O.	N.O.	N.O.	1%	63%	1%	1%	N.O.	7%	25%
T2N5	1%	10%	2%	N.O.	1%	56%	1%	1%	N.O.	10%	18%
T2N6	3%	3%	3%	1%	2%	66%	3%	N.O.	1%	6%	12%
T3N1	1%	N.O.	8%	1%	N.O.	74%	6%	1%	1%	5%	3%
T3N2	2%	3%	3%	N.O.	1%	73%	8%	2%	N.O.	4%	4%
T3N3	1%	4%	3%	N.O.	N.O.	48%	3%	5%	N.O.	33%	3%
T3N4	1%	2%	1%	N.O.	1%	77%	3%	1%	N.O.	5%	9%
T4N1	1%	2%	5%	N.O.	1%	52%	15%	1%	1%	11%	8%
T4N2	NO	2%	5%	N.O.	2%	59%	9%	3%	1%	10%	7%
T4N3	2%	2%	2%	N.O.	1%	46%	19%	1%	1%	13%	9%
T4N4	1%	2%	3%	N.O.	1%	49%	13%	1%	1%	18%	10%

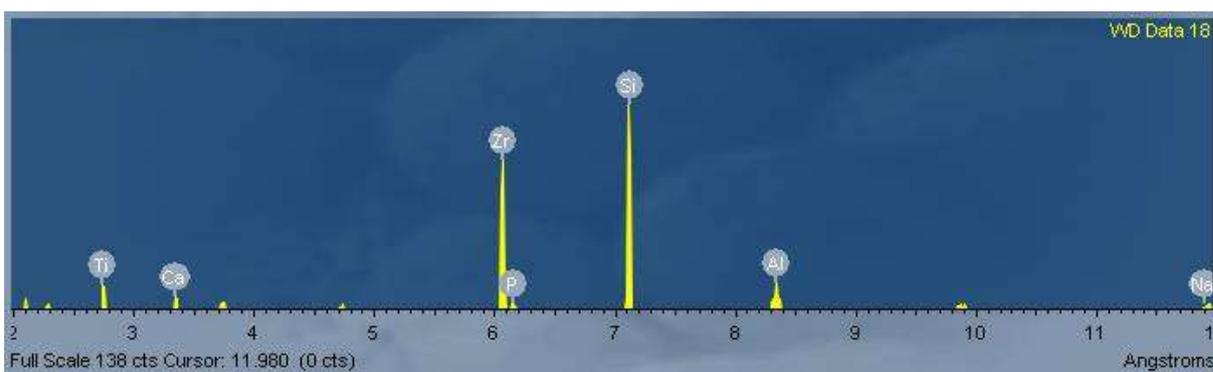
Legenda: AM – amostras, Di – diopsídio, Ep – epidoto, Esp – espodumênio, Gr – Granada, Hbl – hornblenda, Ilm – ilmenita, Ky – cianita, MC – Micas (Biotita e Muscovita), Rt – rutilo, Sil – silimanita, Tur – turmalina, Zrn – zircão. N.O. - Não Observado.



ANEXO C - ESPECTROGRAMA DE ELEMENTOS QUÍMICOS POR WDS DE GRÃO DE TITANITA EM FRAGMENTO DE ROCHA (AMOSTRA P4).



ANEXO D - ESPECTROGRAMA DE ELEMENTOS QUÍMICOS POR WDS DE GRÃO TITANITA EM FRAGMENTO DE ROCHA (AMOSTRA P4)



ANEXO E - ESPECTROGRAMA DE ELEMENTOS QUÍMICOS POR WDS DE GRÃO DE ZIRCÃO EM FRAGMENTO DE ROCHA (AMOSTRA P4).