

BOMGEAM

(<http://gmga.com.br/bomgeam>)

03 - A CONTRIBUIÇÃO DA FORMAÇÃO BARREIRAS COMO FONTE DOS SEDIMENTOS DOS MANGUEZAIS E DE FUNDO DO RIO MARAPANIM NA REGIÃO DE MARAPANIM (PA) COM BASE NA ASSINATURA DE MINERAIS PESADOS

Ano 08 (2021) - Número 01

Artigos

 [10.31419/ISSN.2594-942X.v82021i1a3JTS](http://doi.org/10.31419/ISSN.2594-942X.v82021i1a3JTS) (<http://doi.org/10.31419/ISSN.2594-942X.v82021i1a3JTS>)

¹Josiana Torres dos Santos

²Marcondes Lima da Costa*

³José Francisco Berredo Reis da Silva

¹Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil, marcodeslc@gmail.com (<mailto:marcodeslc@gmail.com>), mlc@ufpa.br (<mailto:mlc@ufpa.br>)

Anúncio fechado por Google

³Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Pará, Brasil, berredo@museu-goeldi.br (<mailto:berredo@museu-goeldi.br>)

*Autor para correspondência

Retomado em 17.03.2021

Revisado em 31.03.2021

Anúncio removido. [Saiba mais](#)

The techniques of investigation of heavy minerals using new analytical instruments were used to evaluate the contribution of the Barreiras Formation sediments as source material of the sediments of the Marapanim River estuary, in the northeast of Pará: bottom sediments and muddy plains (mangroves, mainly). The most suitable granulometric fraction is very fine sand, where they stood out in decreasing order of abundance: zircon, tourmaline, staurolite, kyanite and rutile, besides sillimanite, andalusite and amphibole. The frequency of these minerals, morphological aspects, inclusions, cavities, fractures indicate that the Barreiras Formation is the main source of these minerals. However, the semi-quantitative chemical data show that there seems to be an external contribution, perhaps from the sediments of the continental platform.

Keywords: Zircon, zircon chemistry, staurolite, tourmaline, cyanite, rutile

INTRODUÇÃO

As técnicas de estudos de minerais pesados foram utilizadas intensamente nas décadas de 1960 a 1980 visando identificar a procedência rochosa e área fonte de estratos sedimentares, principalmente arenitos e argilitos e ainda dos seus correspondentes metamorfizados. Depois perdeu um pouco de importância, porém retornou com maior força ao serem empregadas novas tecnologias como a difração de raios X, principalmente a microscopia eletrônica de varredura com EDX e a microsonda eletrônica. Finalmente com o avanço das datações de zircões contidos nestas unidades, quando se passou a aplicar as mais avançadas técnicas analíticas, culminando com as microsondas iônicas, o estudo de minerais de pesados se tornou mais contundente. Desta forma, além de se extrair os grãos de zircão, são extraídos os demais minerais pesados, que são igualmente analisados e discutidos, substanciando de forma categórica discussões quanto a idade absoluta, procedência e área fonte, além de transformações antes, durante e pós-deposição (Deng et al., 2010; Dill et al., 2012; Gu et al., 2013; Li et al., 2014; Martins et al., 2014; Shahbazi et al., 2014; Pantoja, 2015; Zhao e Liu, 2019; Pantoja e Costa, 2021 submetido).

Na região Nordeste do Pará os estudos de assembleias de minerais pesados para identificação de procedências e áreas fontes foram aplicados ainda nos anos 1980 e persistem na atualidade, e se concentraram principalmente nas sequências sedimentares Mesozóicas e Cenozóicas das bacias geológicas do Parnaíba e São Luis-Grajaú, com destaque aos Grupos e/ou Formações Itapecuru e Ipixuna (Góes, 1981; Rossetti e Truckenbrodt, 1997; Nascimento e Góes, 2007; Pantoja, 2015; Costa et al., 2016) e às unidades mais jovens como a Formação e/ou Grupo Barreiras tanto zona interior como no litoral (Góes, 1981; Rossetti e Truckenbrodt, 1997).

Essa região é dominada por rochas sedimentares siliclásticas da Formação/Grupo Barreiras, eminentemente continental, que recobrem a Formação Pirabas, marinha plataformal, dominada por calcários fossilíferos, que em conjunto se sobrepõe principalmente a embasamento cristalino, representado por granitoides e equivalentes metamórficos, como gnaisses em parte metassedimentos em fácies xisto-verde a anfibolitos do Grupo Gurupi (Costa et al., 1975; Costa et al., 2016). Na região litorânea sobrepostos principalmente ao Barreiras, nas zonas estuarinas, se destacam as planícies lamosas (manguezais, em especial), barras de areia, mas também latossolos e podzóis além de formações lateríticas desenvolvidos a partir das litologias da Formação Barreiras (Tabela 1). Embora do ponto de vista geral geológico, esses sedimentos lamosos, e ainda aqueles sedimentos de fundo dos estuários, que em parte contribuem para a formação das barras litorâneas e fluviais, tenham como principal fonte a Formação Barreiras e as Formações Lateríticas e de solos, faz necessário demonstrar de forma mais categórica essa relação. Para consubstanciar essa relação desenvolveu-se o presente estudo tendo a assembleia de minerais pesados como foco principal (Figura 1). A região tem sido objeto de estudos que contemplam principalmente o uso de dados de palinologia e geoquímica dos sedimentos, em parte das águas. Nas pesquisas realizadas sobre os manguezais brasileiros, são comuns os estudos que enfocam processos biológicos e/ou biogeoquímicos envolvendo a fauna e flora desses ambientes (Behling e Costa, 2004; Costa et al., 2004; Berredo, 2006; Vilhena et al. 2021).

A forma estuarina do rio Marapanim apresenta alta razão largura/profundidade e seus canais de maré mostram baixa sinuosidade. A largura da seção estuarina, que naturalmente diminui gradativamente à montante, passando a canal sinuoso, com maior meandramento na região onde não sofre mais influência da maré. A sua foz está conectada livremente com o oceano Atlântico, sob baixo relevo e dominada por macro-marés semi-diurnas (>5m), combinadas localmente com a ação das ondas (Berredo, 2006). Sedimentos quaternários compõem as planícies arenosas, as praias, os cordões de dunas, além da planície lamosa (manguezais) (Figura 1).

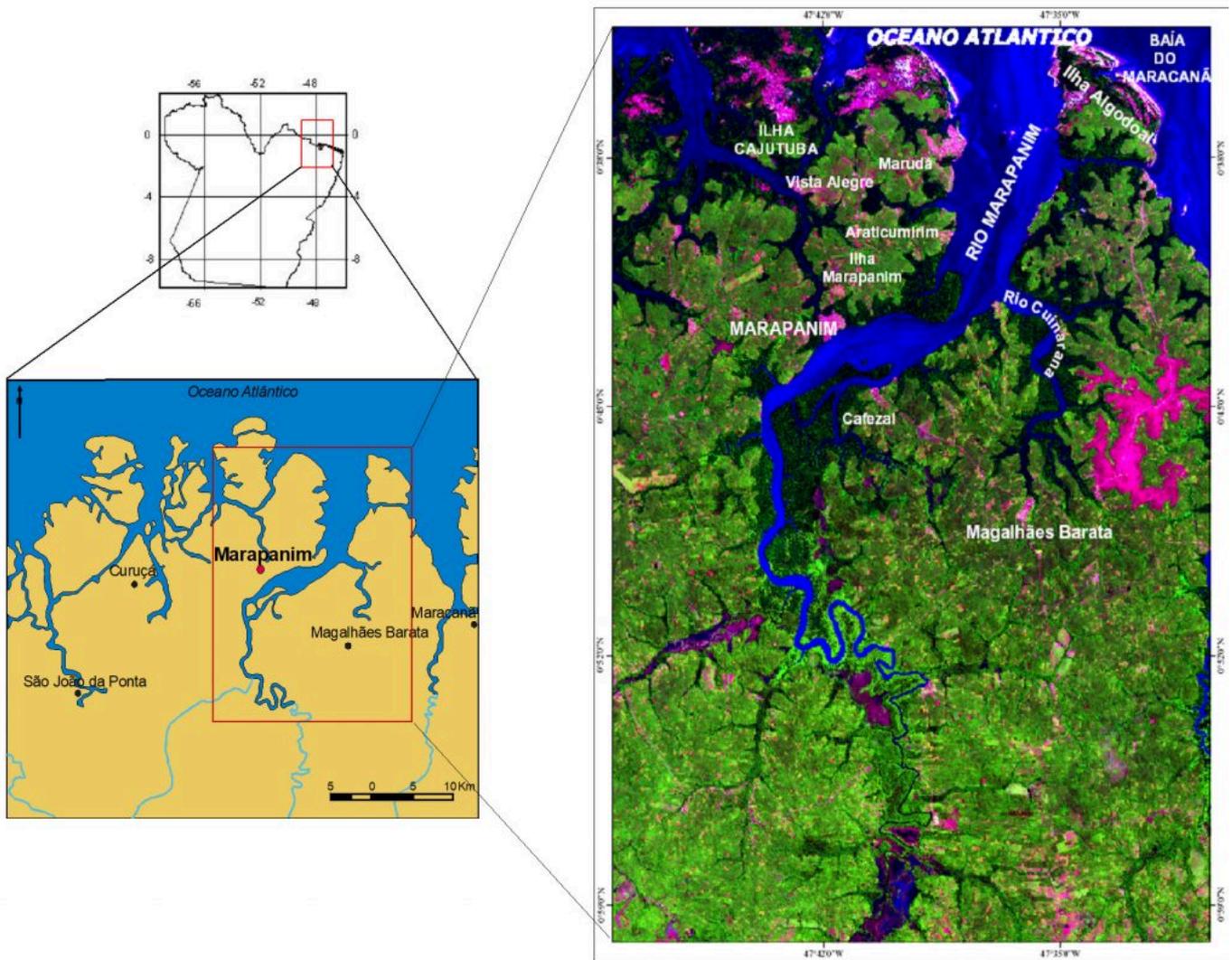
MATERIAIS E MÉTODOS

Amostragem - Foram coletadas amostras de rochas da Formação Barreiras, de sedimentos da Planície Lamosa e dos sedimentos de fundo do rio Marapanim. Coletou-se 6 amostras de rochas incoesas da Formação Barreiras aflorantes nas falésias do rio Marapanim (Figura 3), bordejadas pelos manguezais. Cada amostra com cerca 500g de material, devidamente georeferenciada. Já a amostragem de sedimentos da Planície Lamosa ao longo do estuário do rio Marapanim consistiu em testemunhagem com trado de aço semicilíndrico com 3cm de diâmetro, que permitiu atingir até 300 cm de profundidade máxima. Obteve-se 18 testemunhos (georeferenciados) de sedimentos, porém somente 5 (Figura 3) se mostraram satisfatórios para o estudo de minerais pesados. Cada alíquota empregada para análise continha cerca de 200g de material. Por sua vez foram coletadas 40 amostras de sedimentos de fundo (georeferenciadas) no mesmo trecho do rio Marapanim, com uso da draga tipo Pettersen; cada amostra com cerca de 1kg de sedimento.

Tabela 1 - Sumários das sucessões na região nordeste do Pará, onde se encontra o domínio do Estuário do rio Marapanim. Modificado de Costa et al. (1975), Costa (1991), Costa et al. (1993), Berredo, 2006; Vilhena et al. (2021).

ÉPOCA	UNIDADES	LITOLOGIA
-------	----------	-----------

Plioceno - Pleistoceno	Formações Lateríticas Imaturas; Pedras de ferro (ironstones)	Perfis lateríticos imaturos ferro-aluminosos com horizonte mosqueado: à caulinita, quartzo, goethita, hematita e anatásio.
Mioceno Superior	Formação ou Grupo Barreiras	Arenitos de granulação média, maciços e friáveis, argilitos geralmente pouco plásticos e maciços e, conglomerados sustentados por abundante matriz de areia grossa; argilitos variegados.
Mioceno Médio		
Mioceno Inferior	Fm Pirabas	Calcários, intercalados com argilito cinza, azulado; argilitos carbonáticos (margas); além de arenitos friáveis; fossilíferos.



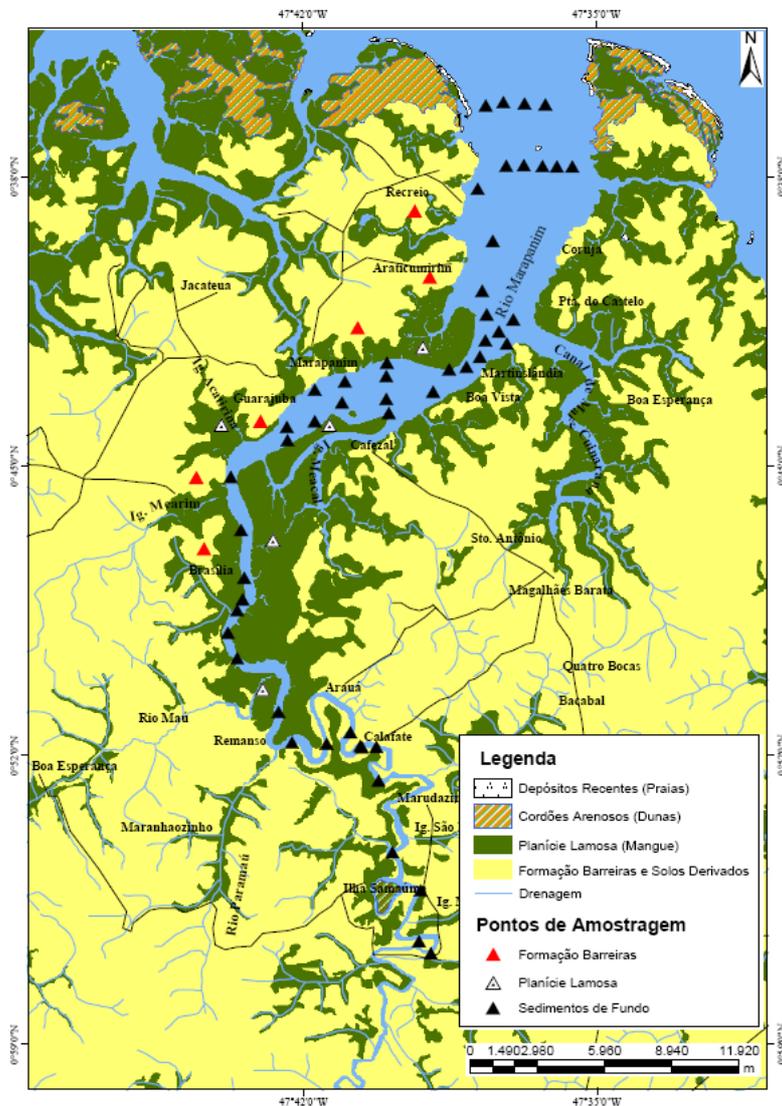
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig1.jpg>)

Figura 1 - Localização da região de estudo (indicada pelo retângulo com linha vermelha à esquerda e detalhada pela imagem de satélite do Google Earth, livre, à direita) no litoral do Nordeste do Pará. Em tonalidade azul os corpos d' água, em azul escuro domínios de Planícies Lamosas e águas negras; em lilás/vermelho corpos arenosos (barras, podzois, áreas recém-desmatadas). As demais áreas em terra firme (tonalidades verdes) correspondem ao domínio da Formação Barreiras que oblitera a Pirabas, e em geral está recoberta pelos perfis solos e formações lateríticas.

Atividades Analíticas

A identificação dos minerais pesados foi realizada inicialmente com auxílio de lupa binocular e, posteriormente, microscópio petrográfico e da publicação de Mange e Maurer (1992), entre outros. A contagem dos grãos foi segundo o método Line Counting (Galehouse, 1971). A determinação percentual dos minerais não-opacos foi com base na contagem de 100 a 150 grãos, cujos resultados foram tabelados e apresentados em gráficos. Das 18 amostras da planície lamosa, só 5 mostraram resultados satisfatórios, ou seja, apenas nessas amostras puderam ser contados no máximo 100 grãos de minerais, ao passo que nas amostras dos Sedimentos de Fundo e da Formação Barreiras, a contagem dos grãos ocorreu de forma mais sistemática, no mínimo, para a maioria das amostras, 100 grãos e no máximo 150. Ao mesmo tempo grãos dos distintos minerais em seus mais diferentes aspectos foram imageados com auxílio de câmera digital. A classificação geral da frequência dos minerais empregou os termos adotados por Coutinho e Coimbra (1974): superabundante (> 50%); abundante (10 - 50%); comum (2 - 10%) e raro (0 - 2%).

Em seguida grãos selecionados foram analisados por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectrometria de Dispersão de Energia (EDS visando aspectos morfológicos, que ao lado de análises químicas semiquantitativas permitiram aperfeiçoar as determinações mineralógicas. Para que essas análises pudessem ser realizadas os grãos de minerais foram colados em fita adesiva dupla-face e metalizados com ouro. Em cada grão mineral foram conduzidos dois pontos analíticos, evitando-se proximidades com inclusões minerais, fraturas e alterações. As condições de análises foram: corrente de feixe = 90µa, voltagem de aceleração constante = 20 kv, distância de trabalho = 15mm, tempo de análise =30s com 4000 a 5000c/s para cada análise. Foram determinados Zr, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Tm, Yb, Lu, Nb, Hf, Pb, Th e U.



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig2.png>)

Figura 2 - Mapa da região de estudos com localização das estações ou pontos de amostragem ao longo do estuário do rio Marapanim e delineando as principais feições geológicas gerais. Segundo Silva (1998).

RESULTADOS

Frequência dos Minerais Pesados Não Opacos

O zircão inabitavelmente apresenta forte preferência a fração muito fina, enquanto turmalina e rutilo se apresentam ligeiramente mais concentrados nesta fração, mas estauroлита e cianita se concentram principalmente na fração fina (Tabela 2). Em geral os valores de frequência de todos os minerais pesados investigados são muito oscilantes, independente da fração. Essa relativa heterogeneidade reflete o comportamento hidráulico perante mudanças das correntes flúvio-marinhas dentro do estuário.

A frequência média em percentual dos minerais pesados superabundantes a abundantes (turmalina, estauroлита, e cianita na fração fina; zircão turmalina, estauroлита e cianita na fração muito fina) na Formação Barreiras é similar a dos Sedimentos de Fundo (tabela 2). A similaridade mineralógica entre as duas unidades em espécies e frequência é nítida, independente das duas frações (Figuras 3 e 4). Por outro lado, essas duas unidades divergem parcialmente dos sedimentos da Planície Lamosa, em que a turmalina se apresenta mais abundante e a cianita mais restrita. O rutilo se classifica como comum e os demais raros (sillimanita, andalusita e anfibólio). Minerais raros como sillimanita, andalusita e anfibólios foram detectados principalmente nas rochas da Formação Barreiras, sendo esporádicos nos Sedimentos de Fundo e não identificados na Planície Lamosa.

Tabela 2 - Contagem e frequência média em percentual dos grãos dos minerais pesados não opacos identificados nas unidades do estuário do rio Marapanim. Zr (zircão); Tur (turmalina); Rt (rutilo); Est (estauroлита); Cia (cianita); Sil (sillimanita); And (andalusita); Anf (anfibólio); FB (Formação Barreiras); PL (Planície Lamosa); SF (Sedimentos de Fundo); G (fração 0.250-0.125 mm); F (fração 0.125-0.062 mm); Total (número de grãos contados); – (não identificado). Continua.

Amostras	Zr		Tur		Rt		Est		Cia		Sil		And		Anf		Total de grãos	
	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F
FORMAÇÃO BARREIRAS (FB)																		
FB - 1	9	65	13	27	5	5	54	34	17	14	2	3	–	1	–	1	100	150
FB - 2	2	45	16	29	1	6	59	50	22	17	–	–	–	1	–	2	100	150
FB - 3	3	40	15	36	3	9	70	50	8	11	1	2	–	–	–	2	100	150
FB - 4	11	59	8	25	1	2	62	57	18	5	–	–	–	2	–	–	100	150
FB - 5	1	38	22	43	4	2	50	48	23	17	–	1	–	–	–	1	100	150
FB - 6	5	59	21	27	1	3	60	47	11	13	1	–	–	1	1	–	100	150
Média	5,2	51,0	15,8	31,2	2,5	4,5	59,2	47,7	16,5	12,8							100	150
SEDIMENTOS DE FUNDO (SF)																		
SF - 1	10	75	25	10	5	20	40	25	20	20	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 2	5	63	23	6	1	2	56	69	15	10	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 3	15	73	7	22	3	1	56	39	19	15	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 4	5	72	25	27	–	5	30	31	10	15	–	–	–	–	–	–	70	150
SF - 5	14	70	8	21	1	–	54	35	23	10	–	–	–	–	–	–	100	136
SF - 6	7	81	9	18	–	3	42	29	10	7	–	–	–	–	–	–	68	138
SF - 7	–	57	–	23	–	1	–	53	–	16	–	–	–	–	–	–	–	150
SF - 8	2	77	17	18	–	–	68	51	13	4	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 9	13	59	21	30	3	20	49	35	14	6	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 10	7	66	21	29	1	8	50	38	20	8	1	1	–	–	–	–	100	150
SF - 11	4	57	19	25	2	5	60	46	15	17	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 12	5	52	20	31	6	2	50	47	19	18	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 13	5	86	20	17	2	10	47	23	26	14	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 15	2	23	24	16	4	–	61	95	9	16	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 16	9	–	25	–	2	–	38	–	26	–	–	–	–	–	–	–	100	–
SF - 17	7	61	23	18	–	4	56	55	14	12	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 18	16	31	11	29	2	4	65	74	6	12	–	–	–	–	–	–	100	150

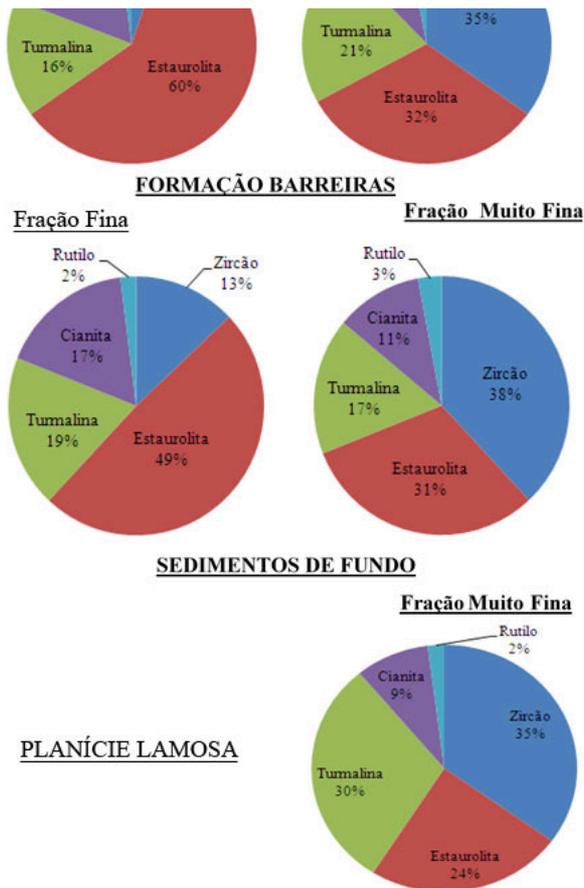
SF - 22	–	35	–	17	–	–	–	71	–	25	–	2	–	–	–	–	–	150
SF - 23	9	61	21	28	6	5	41	35	23	21	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 24	2	55	11	20	3	5	63	50	21	20	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 25	3	52	31	31	2	4	34	45	30	18	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 26	33	25	23	26	1	3	21	56	21	37	1	3	–	–	–	–	100	150
SF - 27	41	71	17	14	–	1	29	44	13	20	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 28	12	85	8	10	2	5	63	35	15	15	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 29	10	62	15	18	1	2	63	54	11	14	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 30	17	69	2	23	5	10	41	30	35	17	–	–	–	–	–	1	100	150
SF - 31	15	72	13	21	3	8	53	36	16	13	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 32	18	70	20	19	4	11	45	40	13	10	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 33	10	67	28	19	2	3	41	33	19	11	–	–	–	–	–	–	100	133
SF - 34	32	–	23	–	–	–	35	–	10	–	–	–	–	–	–	–	100	–
SF - 35	5	85	19	21	3	10	48	18	25	14	–	1	–	1	–	–	100	150
SF - 36	3	70	27	15	5	3	42	45	23	17	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 37	11	–	29	–	3	–	40	–	16	–	–	–	–	–	–	–	99	–
SF - 38	–	29	16	44	1	5	69	61	14	11	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 39	55	37	16	56	2	5	21	40	6	12	–	–	–	–	–	–	100	150
SF - 40	9	25	11	50	–	1	71	59	9	15	–	–	–	–	–	–	100	150
Média	12,2	59,7	18,7	23,3	3,0	5,5	48,7	45,2	16,9	15,2							<100	<150

PLANÍCIE LAMOSA (PL)

PL - 1	–	39	–	25	–	–	–	26	–	10	–	–	–	–	–	–	–	100
PL - 2	–	31	–	36	–	2	–	24	–	7	–	–	–	–	–	–	–	100
PL - 3	–	32	–	25	–	3	–	28	–	11	–	1	–	–	–	–	–	100
PL - 4	–	37	–	31	–	2	–	22	–	8	–	–	–	–	–	–	–	100
PL - 5	–	36	–	31	–	1	–	19	–	12	–	1	–	–	–	–	–	100
Média		35		30		2		24		9								

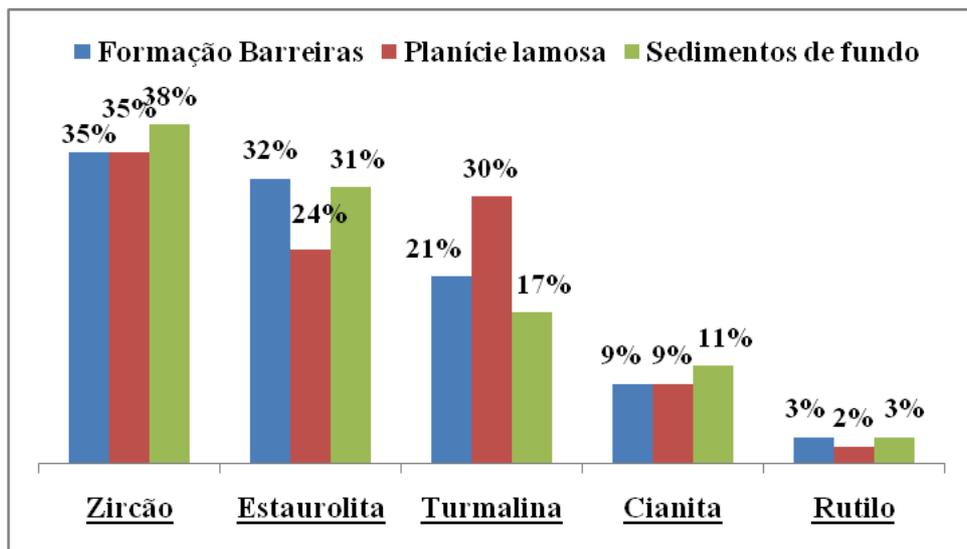
FREQUÊNCIA MÉDIA EM PERCENTUAL PARA CADA
UNIDADE GEOLÓGICA ANALISADA

Unidade/Minerais/Fração	Zr		Tur		Rt		Est		Cia		Sil		And		Anf		Frequência Total (%)	
	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F
FB	5	35	16	21	2	3	60	32	17	9							100	100
SF	13	38	19	17	2	3	49	31	17	11							100	100
PL		35		30		2		24		9							100	100



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig3.jpg>)

Figura 3 - Distribuição da frequência (a 100%) para o conjunto dos cinco principais minerais pesados não opacos das rochas da Formação Barreiras (acima), dos Sedimentos de Fundo (no centro) e da Planície Lamosa (abaixo) no estuário do rio Marapanim.

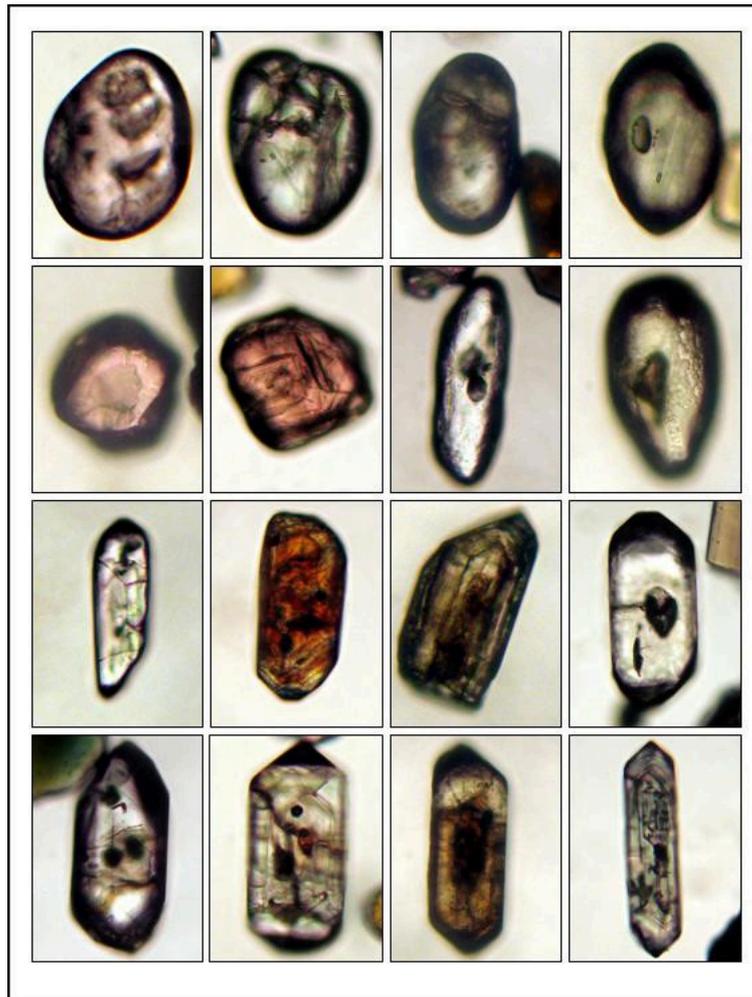


(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig4.png>)

Figura 4 - Comparação entre as distribuições (% de grãos) dos principais minerais pesados nas três unidades estudadas (fração fina).

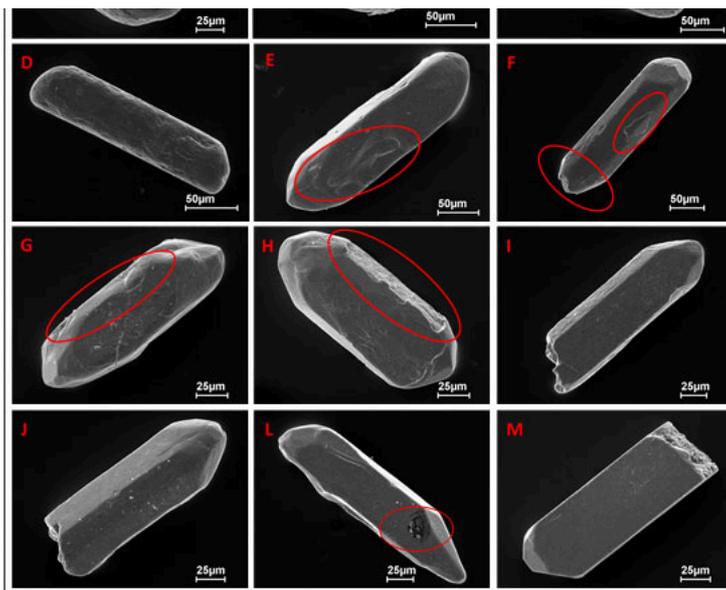
O zircão é abundante a superabundante apenas na tração areia muito fina dos sedimentos estudados, mesmo talvez naqueles da Planície Lamosa, já que não foi registrada a fração areia fina. Mas os seus grãos exibem diferentes formas e cores, mas sem demonstrar entre as unidades. Em geral os grãos arredondados e subarredondados são mais comuns, mas também formas subédricas, euédricas de cristais, além de fragmentos angulosos. Esses grãos são principalmente incolores (> 50%), mas aqueles de cor rosa e marrom também ocorrem (Figuras 5, 6 e 7). Apresentam também inclusões fluidas, de minerais opacos e do próprio zircão. Exibem ainda fraturas e cavidades superficiais, na maioria surgida pela perda de inclusões subaflorantes, que se tornam nítidas em imagens de MEV (Figuras 8, 9 e 10). Os de cor rosa são comuns (2 - 10%) e alguns com zoneamento. Os marrons são raros (<2%), geralmente prismáticos bipiramidais, porém ocorrem também em formas subédricas e na maioria das vezes apresentam intenso zoneamento e algumas inclusões diversas.

Em geral, os zircões da Formação Barreiras, dos Sedimentos de Fundo e da Planície Lamosa apresentam características texturais e morfológicas semelhantes entre si, no entanto, os grãos bem arredondados são mais frequentes nos Sedimentos de Fundo, as formas euédricas são mais comuns na Formação Barreiras e os fragmentos angulosos são mais habituais na Planície Lamosa. Baseados nesses aspectos, a Formação Barreiras parece ser a principal fonte desses minerais e, portanto, desses sedimentos mais recentes.



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig5.jpg>)

Figura 5 - Fotomicrografias de zircões coloridos na Formação Barreiras, exibindo grãos arredondados, subarredondados (conjunto de imagens nas duas fileiras superiores) e representativos de prismáticos bipiramidais de arestas parcialmente arredondadas a euédricas (nas duas inferiores). Alguns grãos exibem inclusões e zoneamento. Imagens sob luz natural.

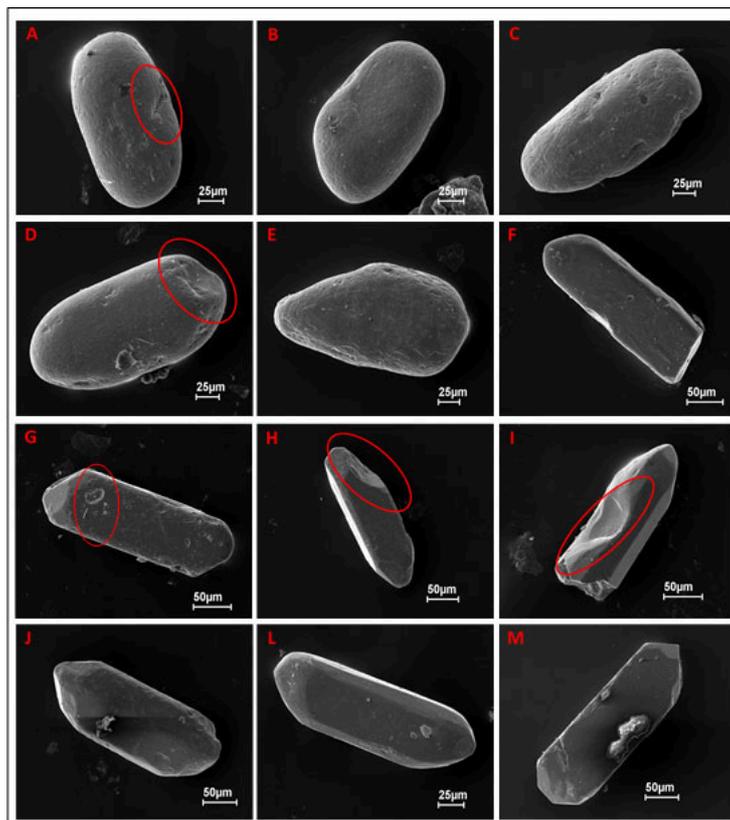


(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig6.jpg>)

Figura 6 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de zircões da Formação Barreiras no estuário do rio Marapanim: (A - C) grãos bem arredondados; (D - J) prismáticos com arestas progressivamente menos arredondadas; (L e M) cristais com arestas vivas, formas euédricas; (E) cavidade na superfície do grão; (G) grão com fratura (detalhe); (F e H) feições de impacto mecânico (detalhe) e (L) inclusão mineral (detalhe).

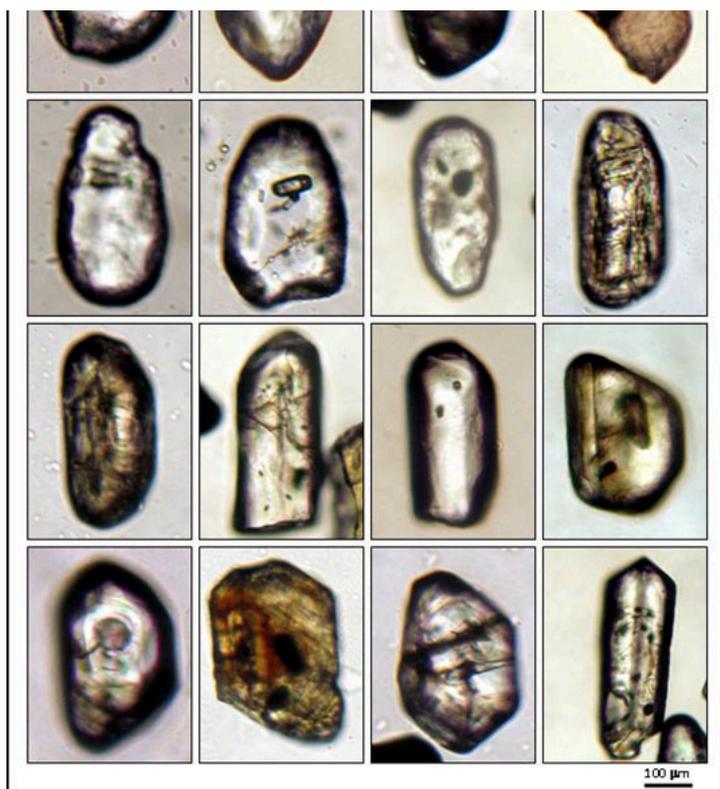


(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig7.jpg>)



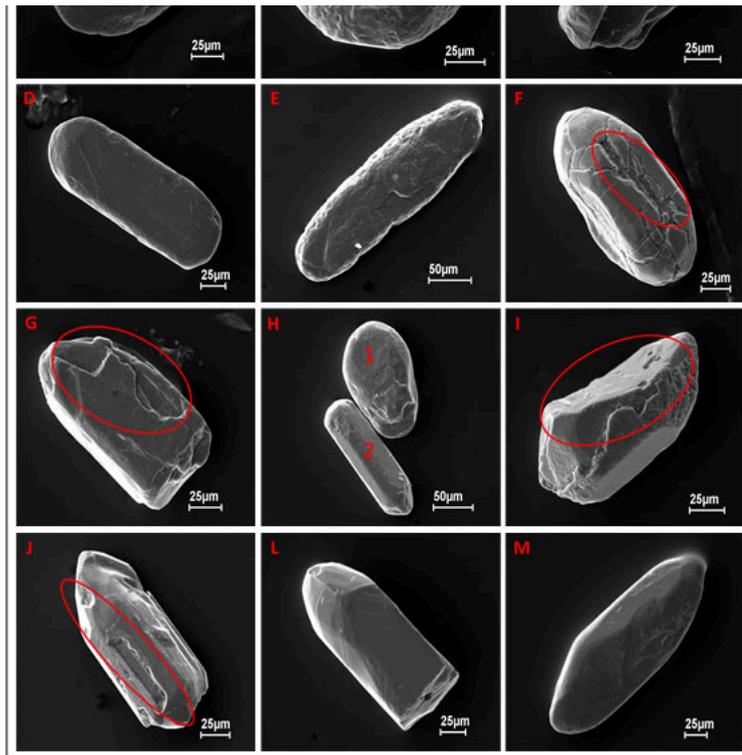
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig8.jpg>)

Figura 8 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de zircões dos Sedimentos de Fundo do rio Marapanim: (A - E) grãos arredondados; (F) forma prismática com arestas parcialmente arredondadas; (G - M) formas prismáticas com faces bem desenvolvidas; (A, D e H) feição de impacto mecânico (detalhe) e (G e I) cavidades na superfície do grão, como possível molde externo de inclusão mineral desprendida.



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig9.jpg>)

Figura 9 - Fotomicrografias de zircões coloridos dos sedimentos da Planície Lamosa, exibindo igualmente grãos arredondados, subarredondados e formas prismáticas com arestas progressivamente mais vivas e sem zoneamento. Imagens sob luz natural.

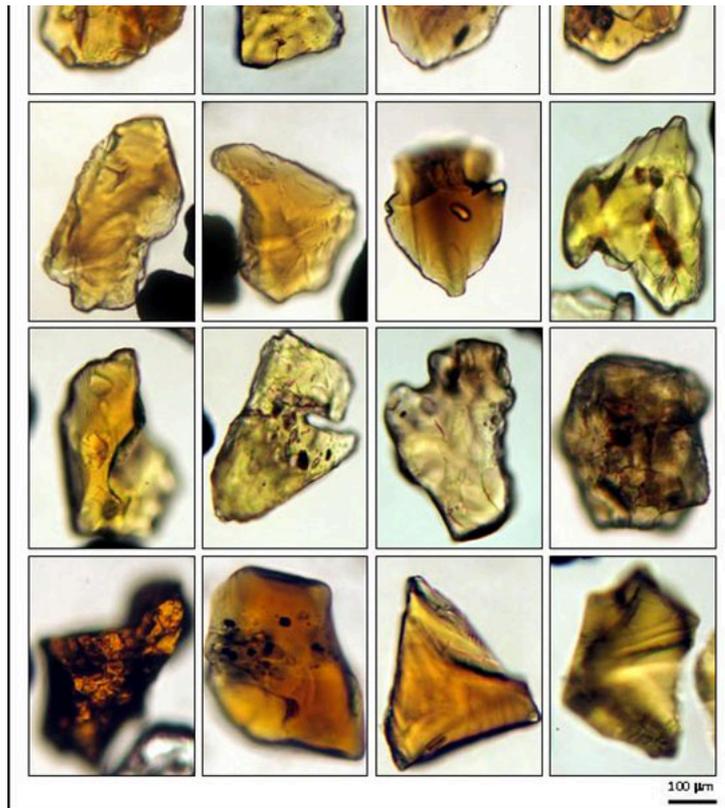


(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig10.jpg>)

Figura 10 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de zircões dos sedimentos da Planície Lamosa do estuário do rio Marapanim: (A e H-1) grãos arredondados; (B, C, F e G) formas subarredondadas e (D, E e H-2) formas prismáticas com arestas subarredondadas a vivas; (I - M) formas cristalinas com faces preservadas (F) grão exibindo fraturamento (detalhe); (J) cavidade na superfície do grão, sugerindo perda de inclusão mineral (detalhe) e (G e H) grãos com feições de impacto mecânico.

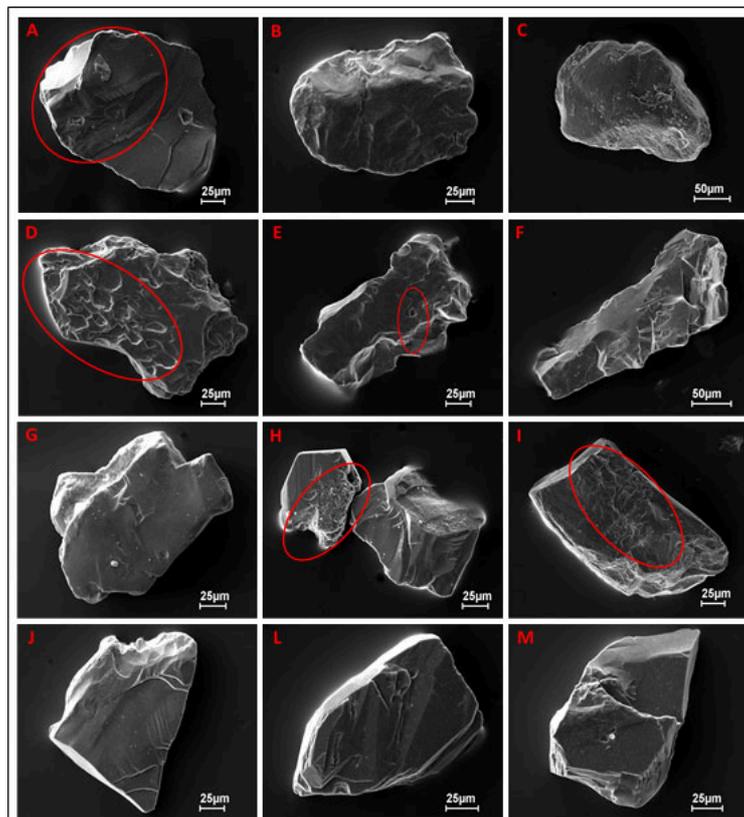
ESTAUROLITA, $((\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Zn})_2 (\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})_9 \text{O}_6 [(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4]_4 (\text{O}, \text{OH})_2)$

A estaurólita é abundante a superabundante na fração 0,25-0125 e abundante na mais fina em todas as unidades estudadas. Ela se apresenta em grãos amarelo-alaranjado a amarelo-claros irregulares com bordas serrilhadas a subarredondados, além de angulosos (Figuras 11, 12 e 13). Também apresenta fraturas conchoidais, inclusões fluidas e de minerais opacos, cavidades superficiais (em decorrência do desprendimento de inclusões minerais por conta da abrasão natural, provavelmente), feições de corrosão, além de estruturas típicas de “crista de galo” (recristalização) (Tomazelli, 1978), essas últimas são mais frequentes naquela da Planície Lamosa, melhor observadas nas imagens de MEV (Figuras 14, 15 e 16). As estaurólitas dessa unidade se destacam daquelas da Formação Barreiras e Sedimentos de Fundo somente em relação a esses aspectos morfológicos de alguns grãos, sugerindo que nesse ambiente ao interagir com ácidos gerados pela decomposição da matéria orgânica em ambiente muito desprovido de oxigênio e baixo pH, correspondente aos manguezais, esteja sendo parcialmente dissolvida e sofrendo cristalização de novas fases minerais (Berredo, 2006).



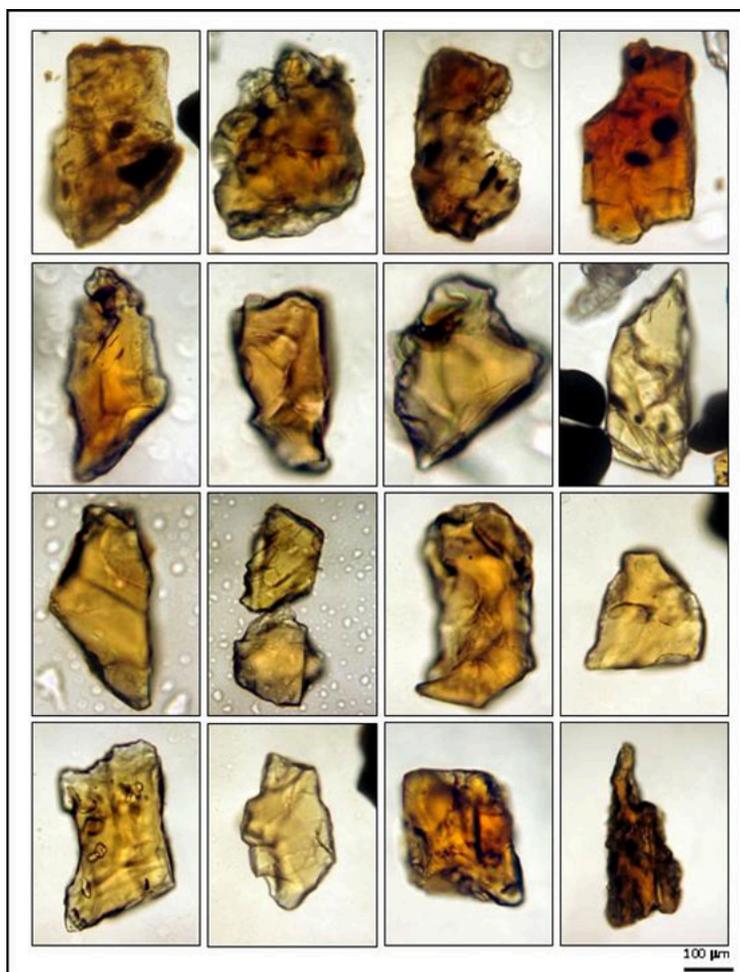
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig11.jpg>)

Figura 11 - Fotomicrografias de estaurolitas dos sedimentos da Formação Barreiras, mostrando formas irregulares e angulosas com inclusões fluidas e de minerais opacos, além de cavidades e corrosão na superfície dos grãos (luz natural).



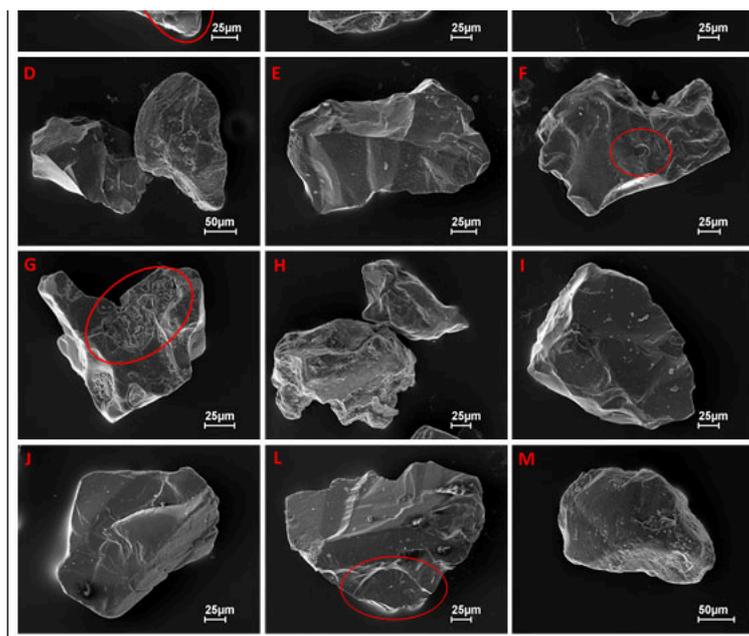
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig12.jpg>)

estruturas típicas de Crista de gato (detalhe) e (D e I) reações de dissolução nos grãos.



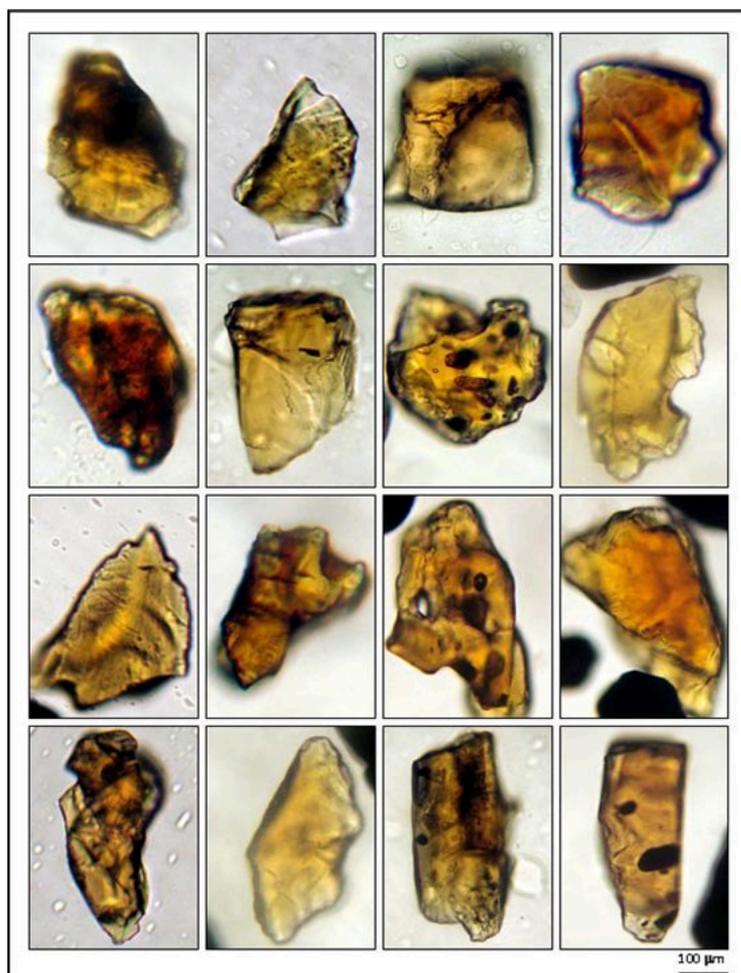
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig13.jpg>)

Figura 13 - Fotomicrografias de estaurolitas dos Sedimentos de Fundo do rio Marapanim, mostrando formas irregulares e angulosas com inclusões fluidas e de minerais opacos, além de cavidades na superfície dos grãos (luz natural).

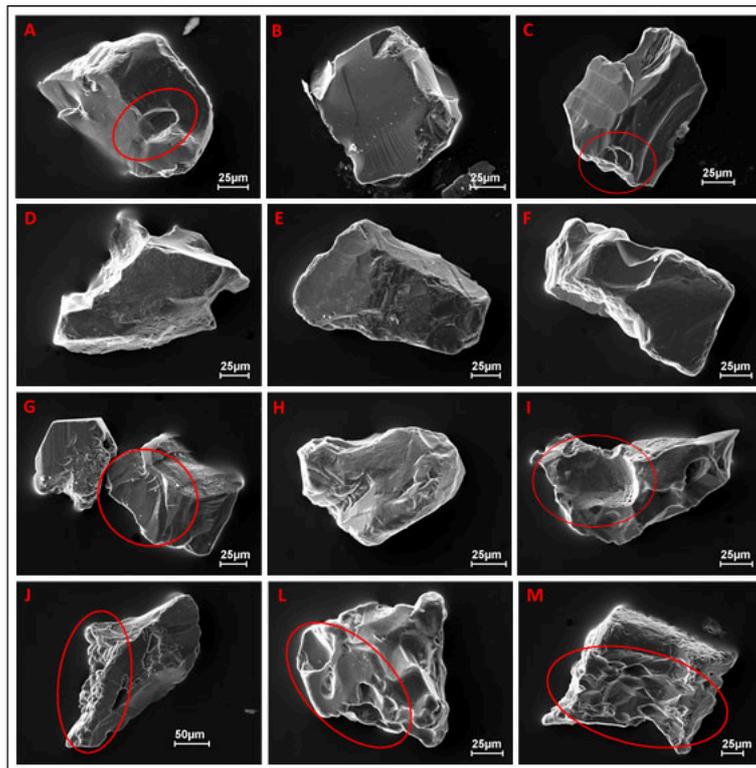


(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig14.jpg>)

Figura 14 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de estaurolita dos Sedimentos de Fundo do rio Marapanim: (A-M) grãos com diferentes formas (irregulares e angulosas); (A) estrutura típica de “crista de galo” (detalhe); (E) cavidade superficial (detalhe); (G) intercrescimento de argilo-minerais (detalhe) e (L) feição de fratura conchoidal (detalhe).



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig15.jpg>)



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig16.jpg>)

Figura 16 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de estaurolitas dos sedimentos da Planície Lamosa do estuário do rio Marapanim: (A, B, E, F, G e H) grãos prismáticos subédricos; (C e D) formas angulosas; (I-M) grãos com formas irregulares; (A, C e I) cavidade na superfície dos grãos (J) estrutura típica de “crista de galo” (detalhe) e (L e M) feições de dissolução nos grãos.

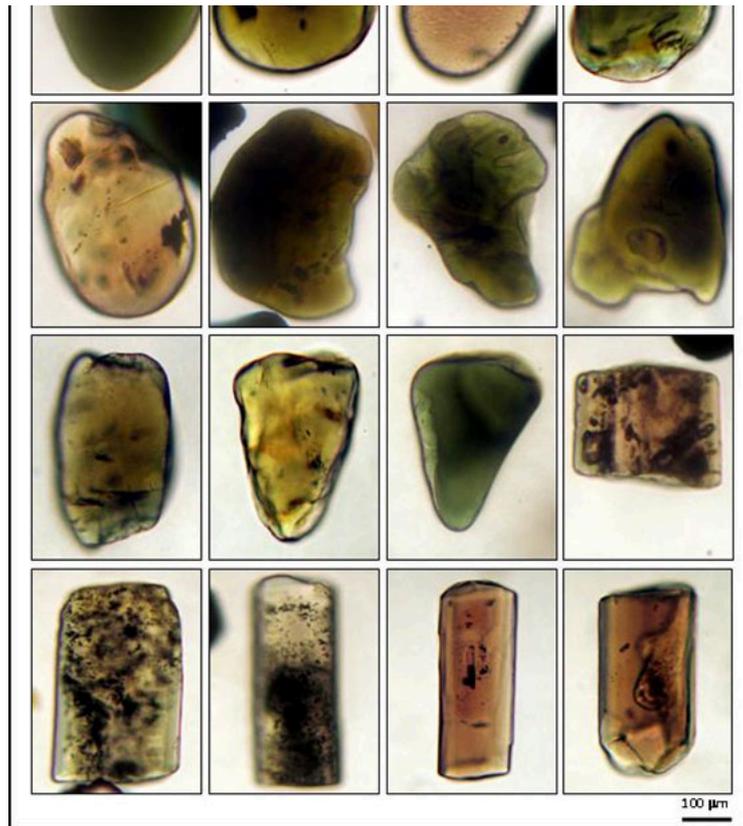
TURMALINA, $((\text{Na,Ca}) (\text{Mg, Al, Li})_3 (\text{Al, Fe, Mn})_6 (\text{BO}_3)_3 (\text{Si}_6\text{O}_{18}) (\text{OH})_4)$

A turmalina é um mineral pesado abundante igualmente nas duas frações com frequência similar na Formação Barreiras e Sedimentos de Fundo e maior na Planície Lamosa (Figuras 3 e 4). Seus grãos variam de bem arredondados, subarredondados e até formas prismáticas (longas e curtas) (Figuras 17 a 22). Neles são comuns as inclusões fluidas (especialmente nas prismáticas) e mineralógicas, além de dissolução química, texturas de aspecto cavernoso, cavidades na superfície de alguns grãos (principalmente prismáticos), ocasionada pelo desprendimento de minerais intercrescidos, além de desgaste mecânico (abrasão mecânica) (Figuras 17 a 22).

As turmalinas se apresentam em cores que variam entre verde-azulado, verde, marrom esverdeado (castanho) e marrom. As verde-azuladas são geralmente arredondadas e subarredondadas, enquanto as verdes com igual arredondamento sob formas prismáticas longas e curtas, exibem inclusões de minerais opacos. As marrons esverdeadas apresentam maior diversidade de grau de arredondamento, com formas prismáticas e riqueza em inclusões fluidas e de minerais.

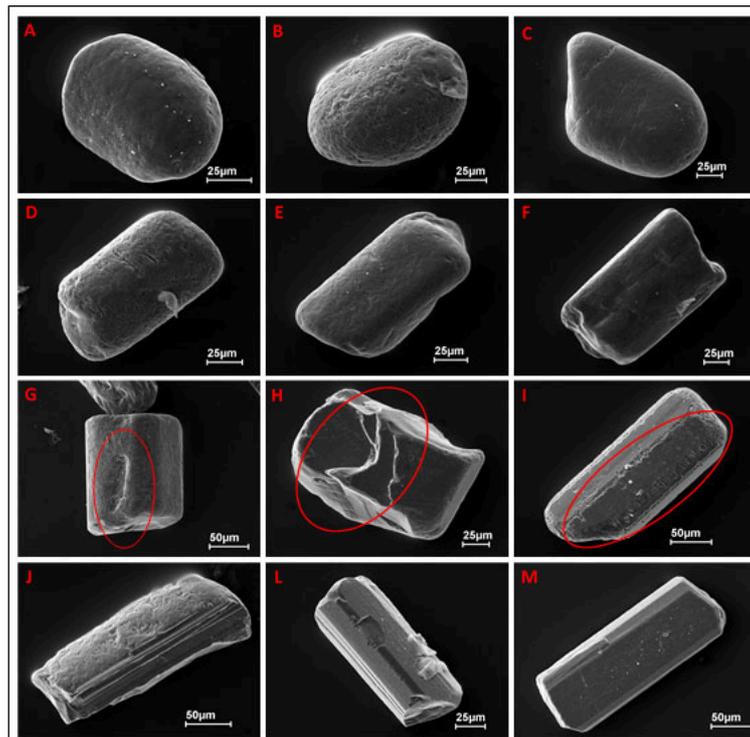
Nos sedimentos da Formação Barreiras as turmalinas verdes e castanhas são mais comuns; enquanto nos sedimentos de fundo as castanhas e marrons e nos sedimentos da Planície Lamosa, as verde-azuladas e castanhas. Com base em Addad (2001) as turmalinas castanhas a verdes poderiam representar a dravita, enquanto as mais escuras shorlita; as azuis elbaítas.

Os diferentes aspectos morfológicos observados nas turmalinas investigadas ocorrem de igual maneira nas três unidades litológicas, em que as formas prismáticas e arredondadas são mais representativas, divergindo parcialmente apenas em termos de padrão de cor, o que não é critério seguro para distinção.



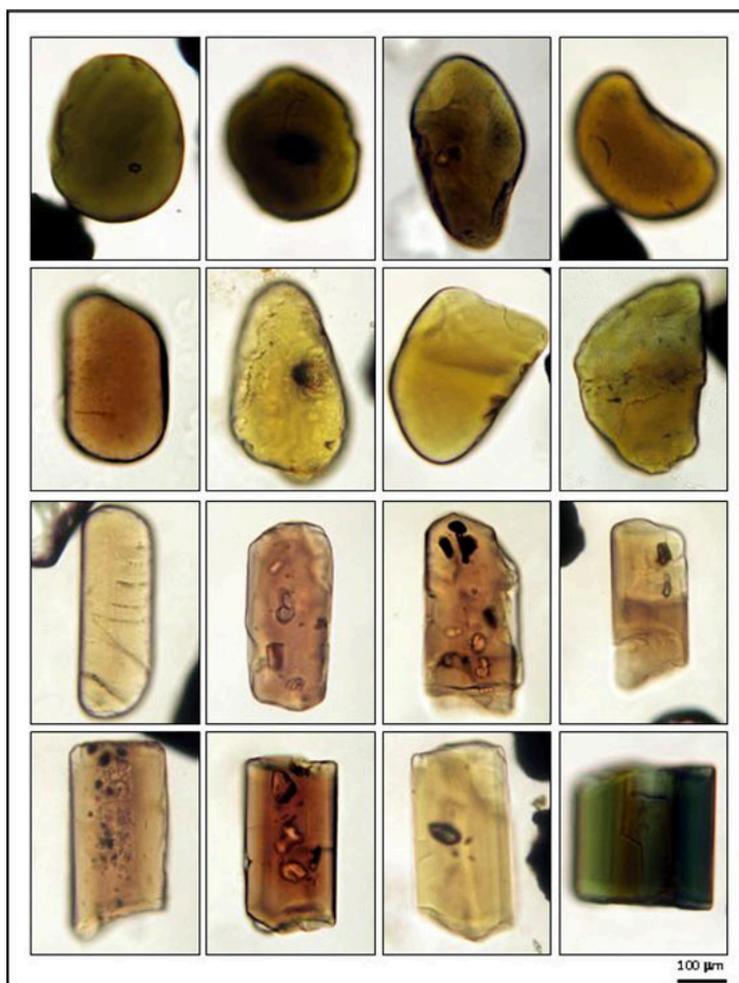
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig17.jpg>)

Figura 17 - Fotomicrografias de variedades de turmalinas dos sedimentos da Formação Barreiras, mostrando grãos com formas arredondadas, subarredondadas e prismáticas com arestas progressivamente arredondadas, além de inclusões (fluidas e de minerais) e cavidades superficiais em alguns grãos. Imagens sob luz natural.



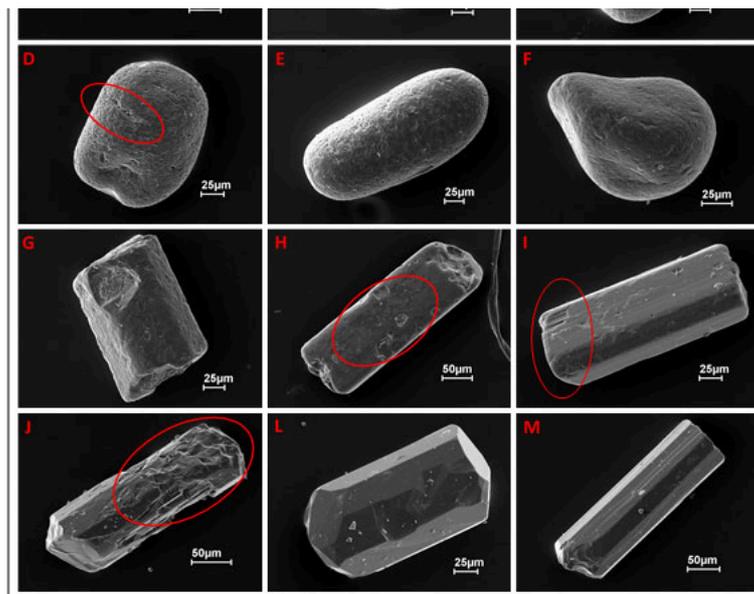
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig18.jpg>)

pele retirada de inclusão mineral (detalhe) e (n) região de desgaste mecânico (detalhe).



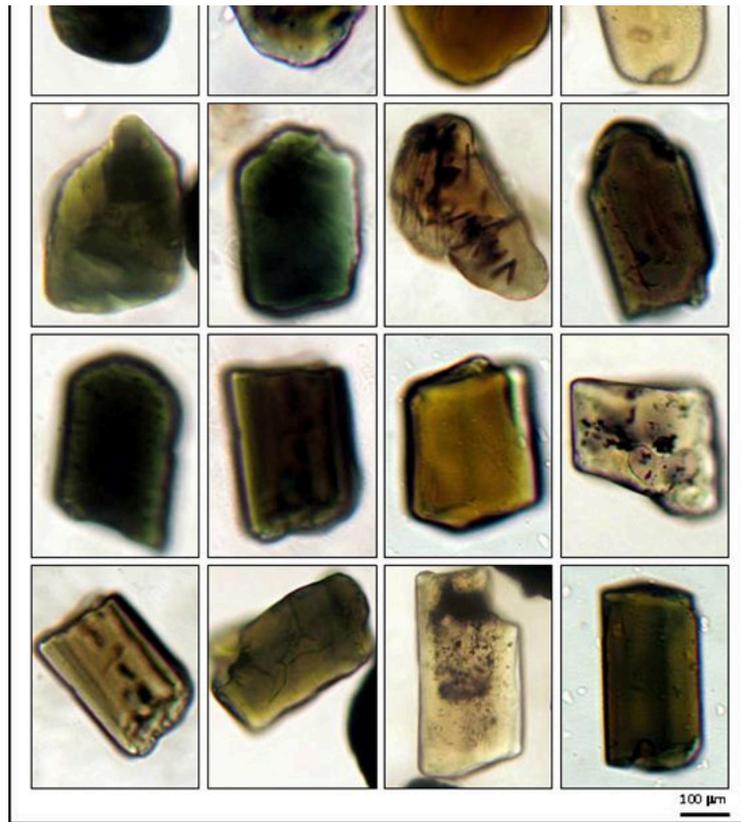
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig19.jpg>)

Figura 19 - Fotomicrografias de variedades de turmalinas dos Sedimentos de Fundo do rio Marapanim mostrando grãos com formas arredondadas, subarredondadas, prismáticas arredondadas e euédricas com inclusões fluidas e de minerais, além de cavidades superficiais em alguns grãos. Imagens sob luz natural.



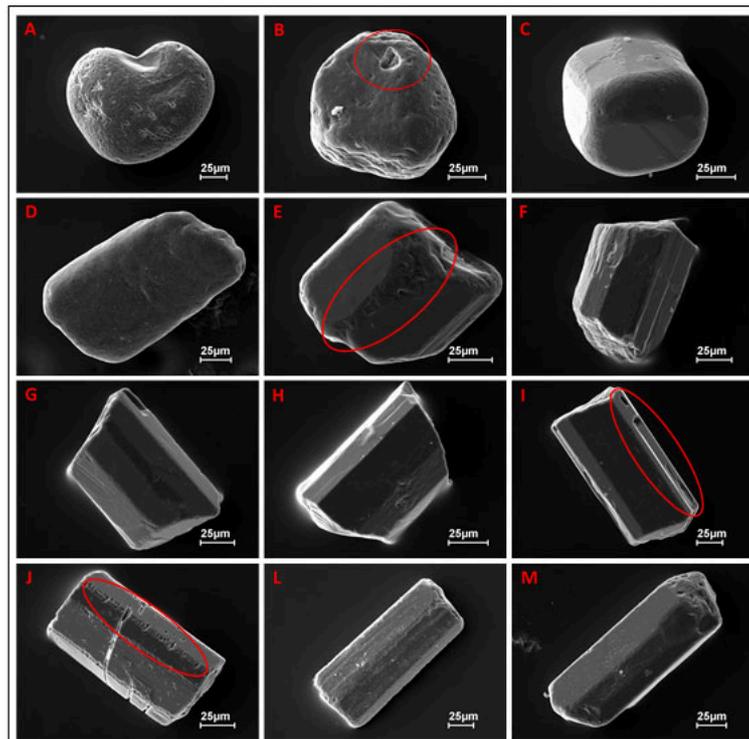
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig20.jpg>)

Figura 20 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de turmalina dos Sedimentos de Fundo do rio Marapanim: (A e B) grãos bem arredondados e esféricos; (C, D e E) grãos arredondados e subsféricos; (F) grão não esférico e arredondado (G) grão prismático, quebrado transversalmente ao prisma; (H e I) grãos prismáticos longos com arestas da base e/ou romboedro, subarredondadas; (J - M) grãos prismáticos longos bem desenvolvidos; (D) feições de dissolução (detalhe); (G e H) cavidades superficiais (detalhe) e (I) feições de dissolução (detalhe).



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig21.jpg>)

Figura 21 - Fotomicrografias de variedades de turmalinas dos sedimentos da Planície Lamosa, mostrando grãos com formas arredondadas, subarredondadas e prismáticas com arestas progressivamente menos arredondadas, além de inclusões fluidas e cavidades superficiais em alguns grãos. Imagens sob luz natural.



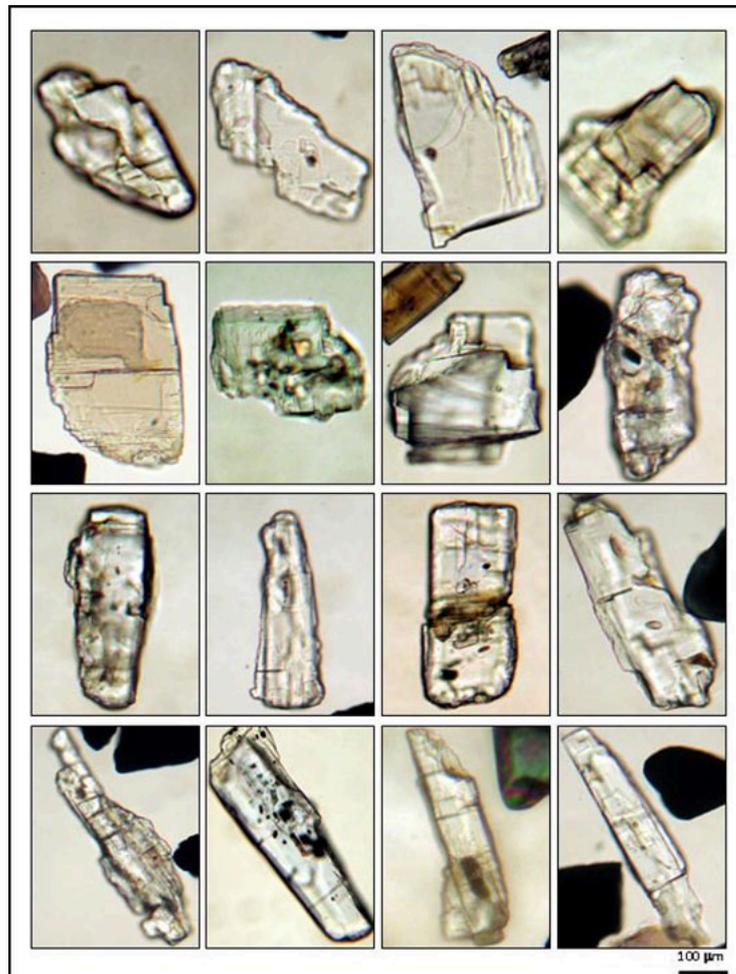
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig22.jpg>)

dissolução nas faces do prisma.

CIANITA, Al_2SiO_5

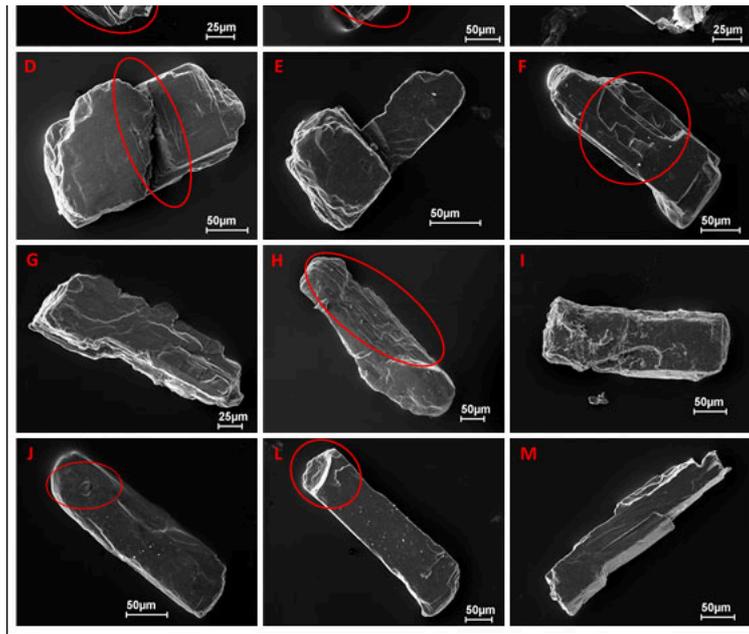
A cianita ocorre com mais frequência na fração 0,25-0,125, em igual valor na Formação Barreiras e Sedimentos de Fundos, sendo menos frequente, ao nível de comum, na fração 0,125-0,62 igualmente nas três unidades. Exibe normalmente grãos tabulares típicos, refletindo a morfologia típica de seus cristais, normalmente alongados paralelamente ao eixo “c”, com suas arestas subarredondadas, além de exibirem nitidamente ao seu padrão de clivagem clássico, em “escadinha”. Inclusões fluidas (principalmente nos grãos alongados) e de minerais opacos, feições de dissolução química (especialmente naqueles da Planície Lamosa), feições de impacto mecânico, além de frequentes cavidades na superfície dos grãos estão presentes (Figuras 23, 24). Aparentemente predomina cianitas alongadas nos sedimentos da Formação Barreiras, enquanto nos de Fundo e da Planície Lamosa grãos “curtos” e subarredondados são mais comuns.

Os grãos de cianita com frequência similar nas três unidades, se usada a fração muito fina (125 - 62 μm), as feições de corrosão mais significativas estão naqueles da Planície Lamosa, resultante provavelmente de sua dissolução química parcial no ambiente lamoso. As demais feições morfológicas são comuns a todas unidades.



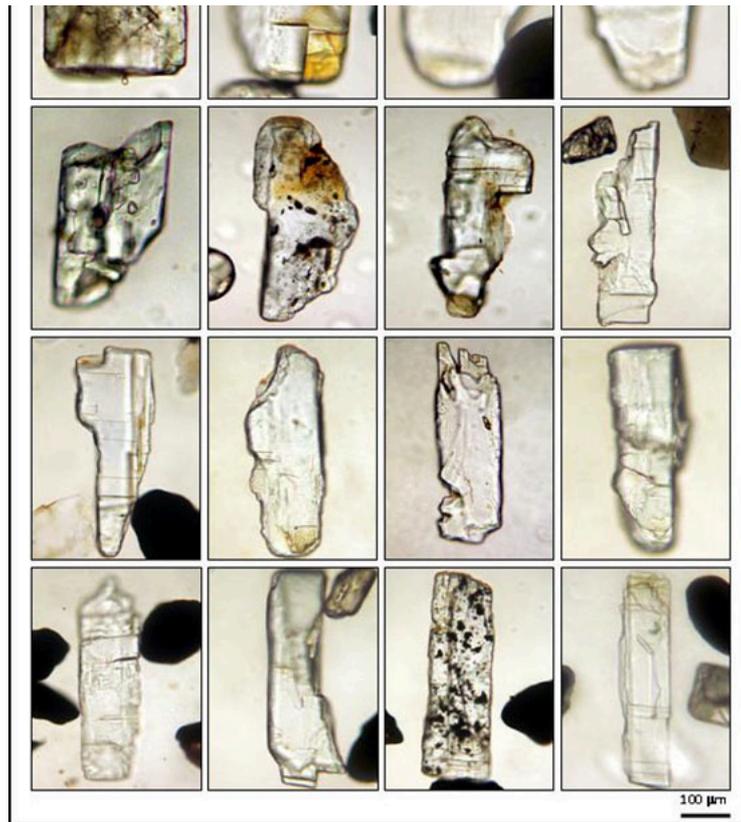
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig23.jpg>)

Figura 23 - Fotomicrografias de cianitas dos sedimentos da Formação Barreiras, mostrando grãos com formas tabulares curtas e alongadas subarredondadas, exibindo a clivagem característica, inclusões fluidas e cavidades na superfície dos grãos. Imagens em luz natural.



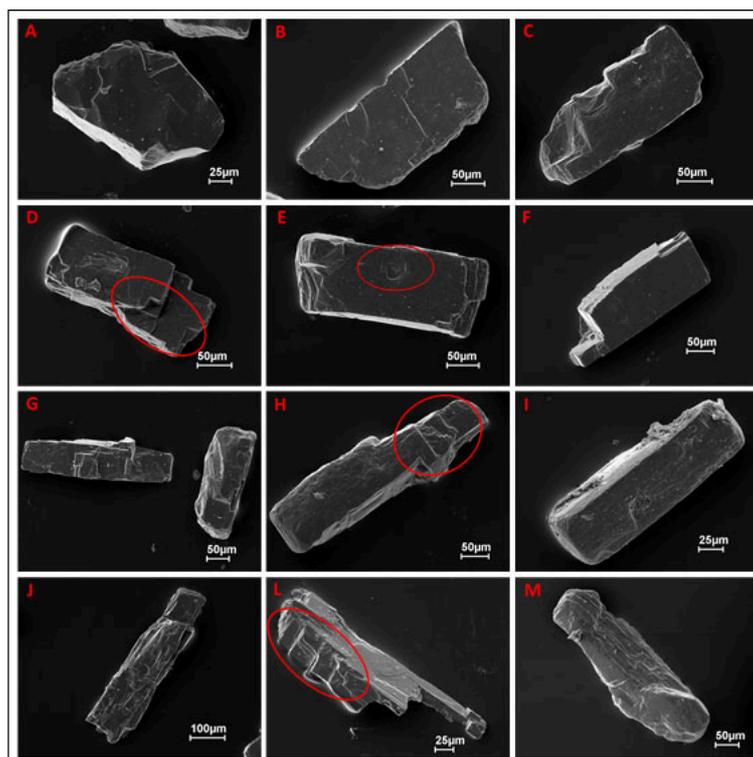
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig24.jpg>)

Figura 24 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de cianitas da Formação Barreiras no estuário do rio Marapanim: (A - L) grãos com formas alongadas mostrando caráter prismático tabular e bordas subarredondadas; (M) grão com forma alongada tabular bem definida (euédrica); (A, F e H) clivagens perfeitas formando ângulo de 90° e degraus produzidos por dinâmica diferencial entre os planos das clivagens (detalhe); (B) inclusão mineral (detalhe); (C e D) feições de dissolução; (J) cavidade na superfície do grão (detalhe) e (I e L) feição de impacto mecânico.

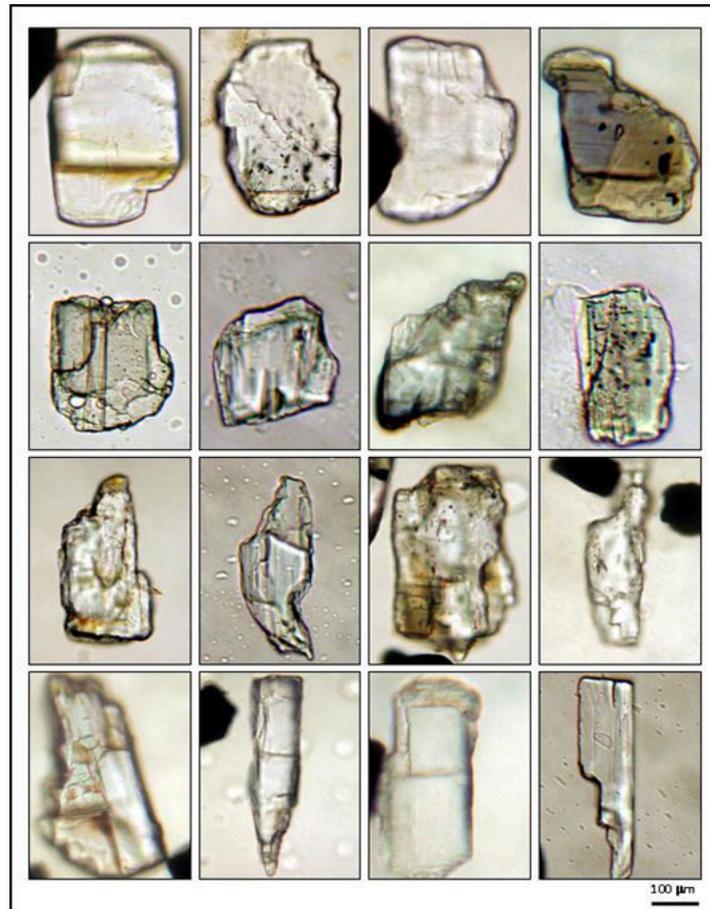


(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig25.jpg>)

Figura 25 - Fotomicrografias de cianitas dos Sedimentos de Fundo do rio Marapanim mostrando grãos com formas arredondadas, subarredondadas e prismática tabular alongada exibindo clivagem característica, inclusões fluidas e cavidades na superfície dos grãos. Imagens em luz natural.

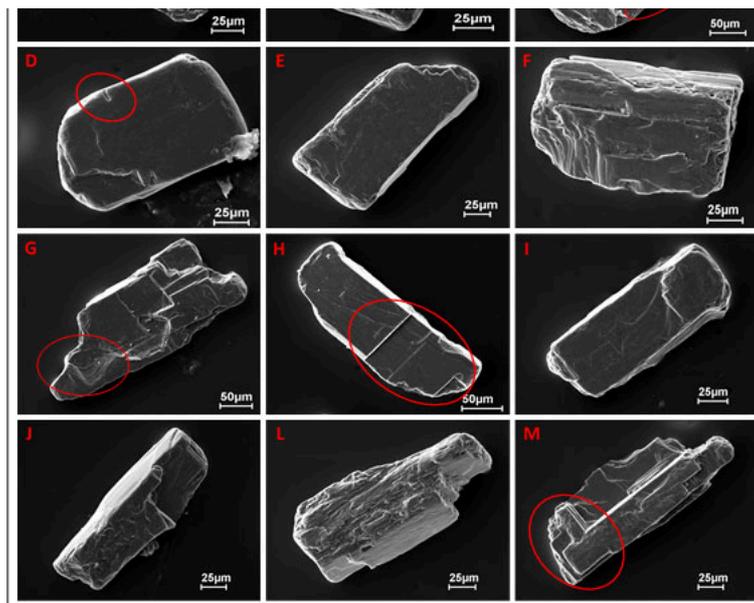


(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig26.jpg>)



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig27.jpg>)

Figura 27- Fotomicrografias de cianitas dos sedimentos da Planície Lamosa, mostrando grãos com formas tabulares curtas subarredondadas e prismáticas tabulares alongadas, exibindo clivagens formando ângulos de 90°, inclusões fluidas e cavidades na superfície dos grãos. Imagens em luz natural.

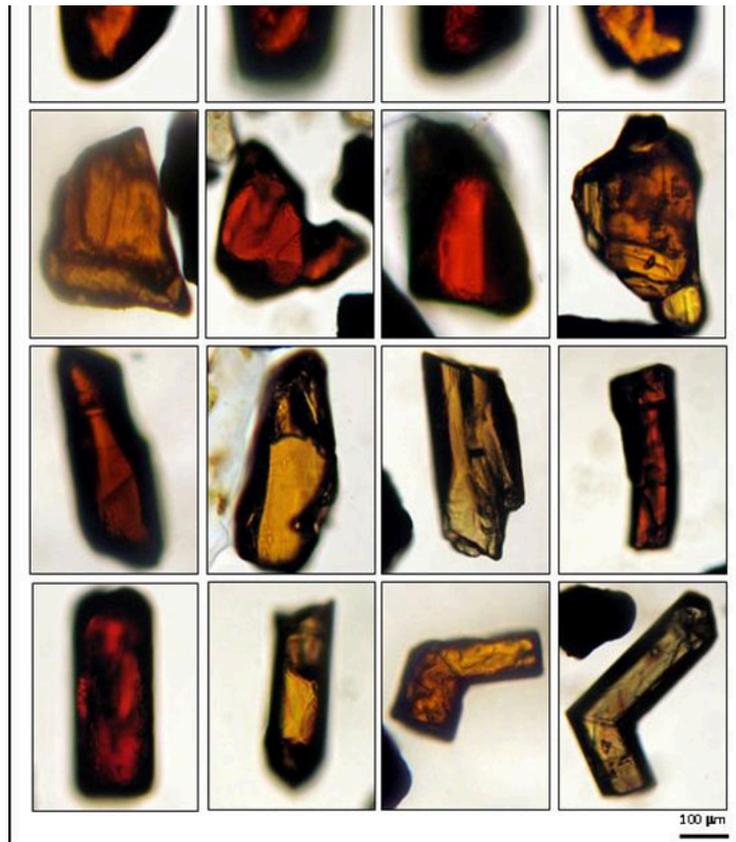


(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig28.jpg>)

Figura 28 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de cianita dos sedimentos da Planície Lamosa do rio Marapanim: (A - M) grãos com formas curtas e alongadas mostrando caráter prismático tabular e bordas progressivamente arredondadas; (C, H e M) clivagens perfeitas formando ângulo de 90° e degraus produzidos por dinâmica diferencial entre os planos das clivagens (detalhe); (D) cavidade na superfície do grão, ocasionada por retirada de mineral (detalhe) e (G) feição de dissolução (detalhe).

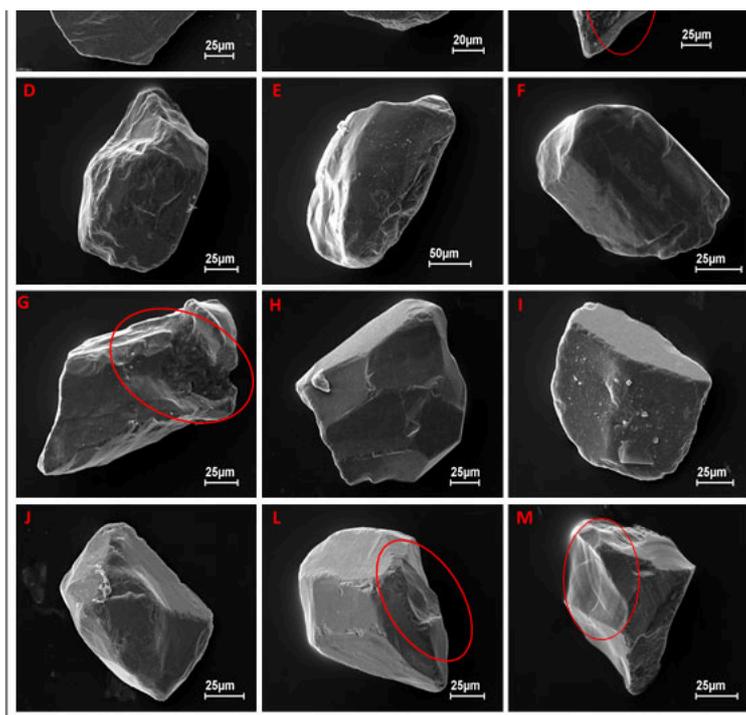
RUTILO, TiO_2

O rutilo é um mineral comum em todas as unidades do estuário do rio Marapanim, em frequência de 2 a %, independente da fração (Figuras 4 e 5). Seus grãos normalmente se apresentam em formas angulosas a arredondadas, por vezes exibindo formas cristalinas subédricas. A coloração varia entre vermelho sangue a amarelo-alaranjado (Figuras 29, 31 e 33). As imagens de MEV permitem observar cavidades superficiais, fraturas conchoidais, inclusões minerais, feições de dissolução química e de abrasão mecânica (Figuras 30, 32, 34). Os grãos de cor vermelho sangue estão presentes em todas as unidades, mas maclas em cotovelo formas euédricas são mais típicas na Formação Barreiras.



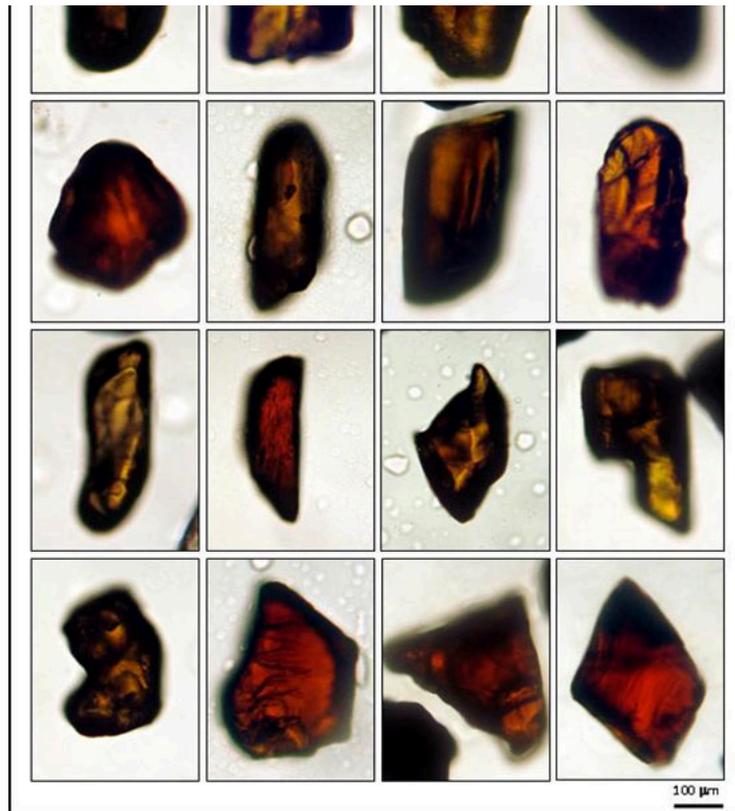
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig29.jpg>)

Figura 29 - Fotomicrografias de rutilos dos sedimentos da Formação Barreiras, mostrando formas arredondadas, subarredondadas, algumas com geminação em cotovelo e euédricas com arestas progressivamente arredondadas. Imagens a luz natural).



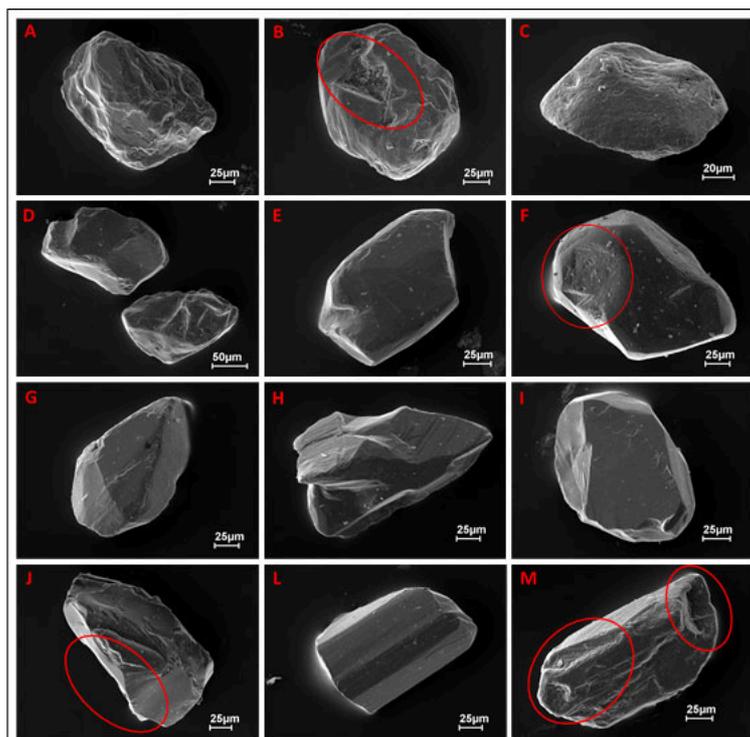
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig30.jpg>)

Figura 30 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de grãos de rutilo dos sedimentos da Formação Barreiras no estuário do rio Marapanim: (A - F) grãos com formas subarredondadas; (G - M) grãos angulosos com arestas progressivamente arredondadas; (C e G) feições de dissolução química (detalhe) e (L e M) feições de impacto mecânico (detalhe).



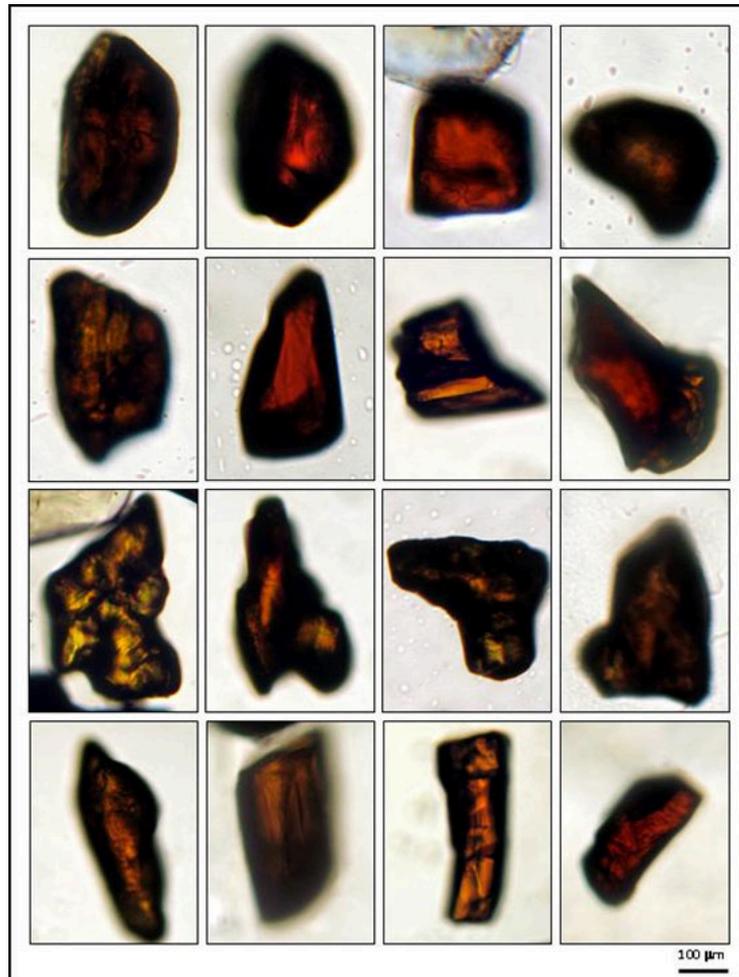
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig31.jpg>)

Figura 31 - Fotomicrografias dos grãos de rutilo dos Sedimentos de Fundo do rio Marapanim mostrando formas arredondadas, subarredondadas, algumas com geminação em cotovelo (?) e euédricas com arestas progressivamente arredondadas. Imagens em luz natural.



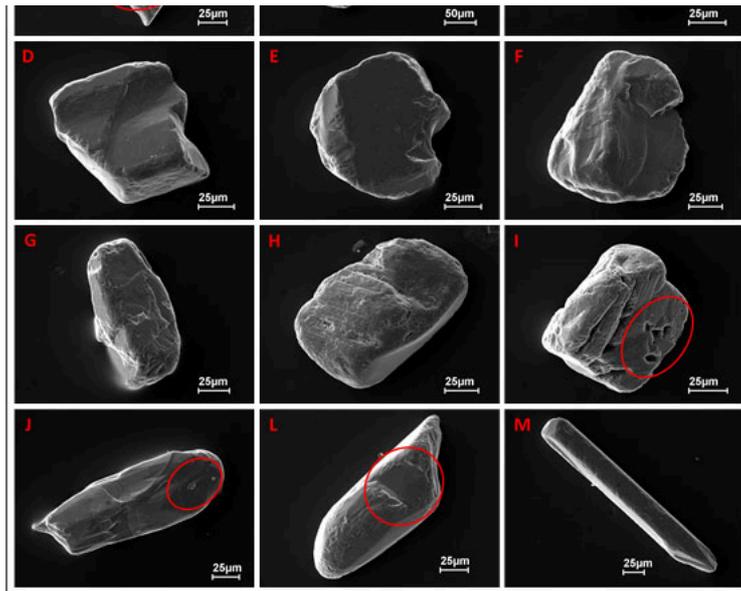
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig32.jpg>)

meccanico.



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig33.jpg>)

Figura 33- Fotomicrografias de rutilos dos sedimentos da Planície Lamosa, mostrando formas arredondadas, subarredondadas, algumas com geminação em cotovelo (?) e prismáticas com arestas progressivamente arredondadas. Imagens em luz natural.



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig34.jpg>)

Figura 34 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) em grãos de rutilos dos sedimentos da Planície Lamosa do rio Marapanim: (A-D) grãos angulosos; (E-I) grãos com formas subarredondadas; (J-M) grãos com caráter prismático subédrico; (A) fratura conchoidal (detalhe); (I) cavidades na superfície do grão (detalhe) e (J) inclusão mineral (detalhe).

SILLIMANITA, Al_2SiO_5

A sillimanita é rara nas três unidades estudadas, ocorrendo em maior frequência na planície lamosa e menor nos Sedimentos de Fundo. Apresenta-se em grãos incolores de aspecto fibroso, com formas alongadas e bordas irregulares.

ANDALUSITA, Al_2SiO_5

A andalusita é também rara nas três unidades estudadas. Ocorre em grãos incolores, formas irregulares e angulosas com algumas inclusões fluidas.

ANFIBÓLIO, $Ca_2[Mg_4(Al,Fe^{3+})]Si_7AlO_{22}(OH)_2$

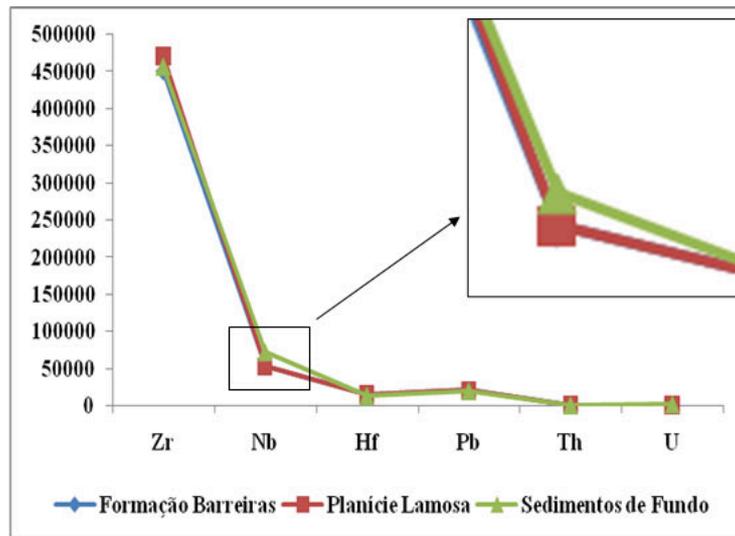
O anfibólio está representado pela hornblenda, em grãos raros encontrados apenas nos sedimentos da Formação Barreiras e de Fundo, em forma prismática curta com borda serrilhada e exibindo cor verde-claro.

Química dos Grãos de Zircão

Tendo em vistas a sua maior frequência (fração 0,125-0,062 mm) e sua alta resistência, ao lado da turmalina e rutilo (RTZ), e sua importância para estudos geoquímicos e petrológicos, que auxiliam na identificação de área fonte e procedência, foi realizado estudo químico semiquantitativo dos grãos de zircão das três unidades investigadas. Neste caso específico, para consubstanciar as discussões sobre a contribuição dos sedimentos da Formação Barreiras como fonte principal dos sedimentos de Fundo e da Planície Lamosa no estuário do rio Marapanim, que do ponto de vista geológico geral, já parece óbvio.

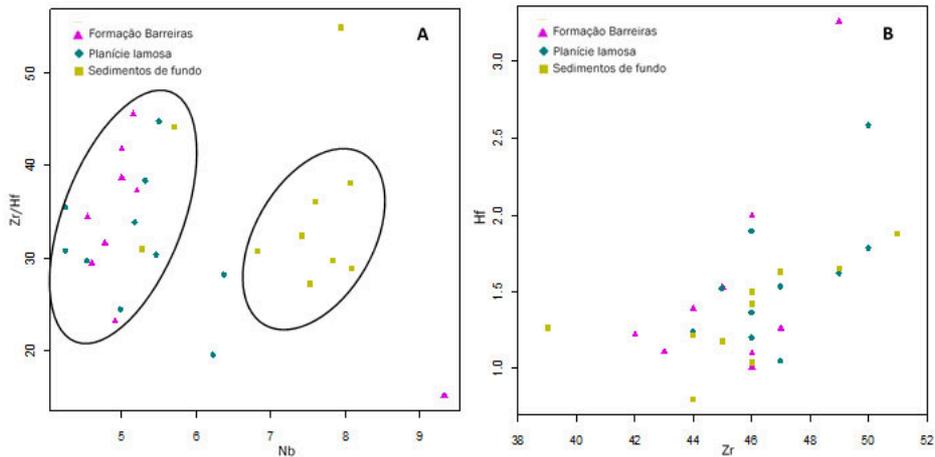
Zircões apresentam assinaturas químicas dependentes dos tipos de rochas ígneas principalmente relativas aos conteúdos de Hf, Y, Nb, Ta, ETR, P, U e Th (Murali et al., 1983; Pupin, 1980, 2000), que são empregadas como indicador em potencial de proveniência. Esse mineral ocorre como acessório de rochas félsicas (ácidas e intermediárias) diversas e é raro nas máficas e ultramáficas (Heaman e Tarney, 1989), e suas assinaturas estão ligadas a fatores como variação de temperatura, de pressão, da fugacidade de oxigênio, e composição química inicial do magma (Belousova e Griffin, 2002). Portanto, as assinaturas geoquímicas de parte desses elementos nos grãos de zircões da região de Marapanim podem indicar a proveniência primária desse mineral.

A composição química média semi-quantitativa dos grãos de zircão mostra que sua composição é similar nas três unidades: Formação Barreiras, Sedimentos de Fundo e Planície Lamosa (Figura 35). Um grupo expressivo dos zircões dos Sedimentos de Fundo mostrou valores mais elevados de Nb, entre 7 e 8,3 % (Figura 36). Isto fica mais evidente no diagrama Zr- Σ ETR-Nb (Figura 37). Mas a correlação Zr vs Hf mostra tendência a linearidade no conjunto total de zircões (Figura 36), sugerindo que a maioria deles deva provir primariamente de rochas de mesma fonte e/ou de composição químico-mineral similar.



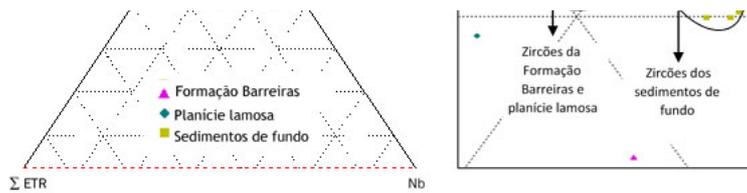
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig35.jpg>)

Figura 35 - Comparação entre as concentrações (ppm) de alguns elementos-traço dos zircões das três unidades estudadas.



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig36.jpg>)

Figura 36 - Diagramas de dispersão a partir de dados analíticos semi-quantitativos (%peso) de análises EDS em zircões do estuário do rio Marapanim; (A) Diagrama Zr/Hf x Nb e (B) Diagrama Zr x Hf.



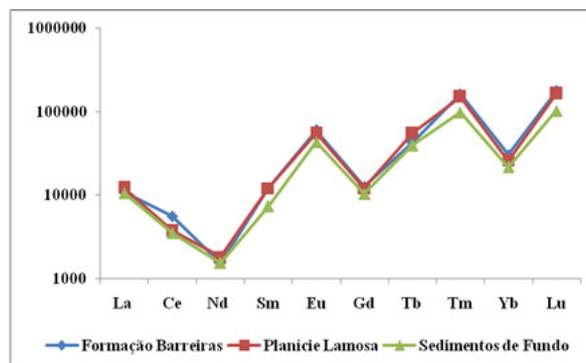
(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig37.jpg>)

Figura 37 - Diagrama ternário Zr - Σ ETR - Nb para os zircões do estuário do rio Marapanim com base em teores semi-quantitativos obtidos por EDS; (A) diagrama Zr- Σ ETR-Nb - Σ ETR; e (B) Detalhe da figura A.

As concentrações dos ETR dos grãos de zircões investigados se equivalem entre os sedimentos da Formação Barreiras e da Planície da Lamosa, sendo bem mais baixas nos Sedimentos de Fundo (Tabela 3), porém seus padrões de distribuição normalizados aos condritos (Taylor e McLennan, 2001) não mostram distinção entre as três (Figura 38).

Tabela 3 - Concentração média (ppm) de cada elemento terra rara nos grãos de zircão da Formação Barreiras, Planície Lamosa e Sedimentos de Fundo no estuário do rio Marapanim.

Elementos	Formação Barreiras	Planície Lamosa	Sedimentos de Fundo
La	4000	4500	3900
Ce	5400	3600	3400
Nd	1100	1300	1100
Sm	2800	2800	1700
Eu	5200	4800	3800
Gd	3900	3700	3200
Tb	2500	3200	2300
Tm	5800	5400	3500
Yb	7600	6400	5400
Lu	6700	6300	3900



(<http://gmga.com.br/wp-content/uploads/2021/04/fig38.jpg>)

Figura 38 - Padrões de distribuição das concentrações ETR nas três unidades estudadas, normalizados aos condritos de Taylor e McLennan, (2001).

DISCUSSÕES

Na região nordeste do estado do Pará e oeste do Maranhão, os principais minerais pesados da Formação Barreiras são: estauroлита, turmalina, cianita, zircão e rutilo, na fração areia fina (0,250 - 0,125mm); e estauroлита, zircão, turmalina, rutilo e cianita, na fração areia muito fina (0,125 - 0,062mm). Os minerais superabundantes são o zircão, estauroлита e turmalina. Os comuns são rutilo e cianita e os de rara ocorrência são

posteriores sobre a distribuição estratigráfica e proveniência desses sedimentos barreiras ao sul da região aqui investigada (Nascimento, 2002, Nascimento e Góes, 2007) demonstraram também essa ampla frequência de minerais pesados, da mesma forma com ligeira mudança na ordem de frequência, como zircão, turmalina, estaurolita, cianita (35%, 24%, 19% e 15%, respectivamente) e rutilo, além de presença esporádica de sillimanita, andalusita, granada, topázio, anfibólio e anatásio. Aqui os grãos de zircão variam de arredondado e subédrico, incolor, marrom e rosa, com ou sem zoneamento; estaurolita angulosa, de coloração amarelo pálido e amarelo-avermelhado; turmalina euédrica, subédrica, arredondada e angulosa nas colorações marrom, verde e azul, algumas caracterizadas por inclusões de minerais opacos; e cianita incolor euédrica (Nascimento, 2002; Nascimento e Góes, 2007). Esse quadro se assemelha em termos gerais ao que foi identificado e descrito no estuário do rio Marapanim tanto nesta Formação, como nos Sedimentos de Fundo e de Planície Lamosa do estuário do rio Marapanim. As semelhanças vão também ao nível de aspectos morfológicos, de inclusões, cavidades e fraturas. Porém divergem daqueles descritos nos sedimentos da Plataforma Continental do Pará descritos por Oliveira e El-Robrini (2007), tanto em espécies minerais, como também nas proporções e características morfológicas. Na Plataforma Continental o epidoto é um mineral frequente, e não foi identificado nos sedimentos estuarinos de Marapanim. Isto demonstra que esses sedimentos não exercem influência sobre a sedimentação no estuário investigado. Por sua vez a forte similaridade em termos de assembleia mineral, frequência e aspectos morfológicos de suas espécies entre a Formação Barreiras e os sedimentos de Fundo e da Planície Lamosa, demonstram que a primeira foi a fonte quase exclusiva dos sedimentos de Fundo e da Planície Lamosa, portanto uma contribuição eminentemente continental. Os sedimentos Barreiras são dominados pelos ZTR, minerais ultra estáveis, enquanto os da plataforma contém minerais mais susceptíveis a degradação química e física, e típicos de rochas metamórficas, como estaurolita, cianita e andalusita, além de epidoto. Os sedimentos Barreiras na região nordeste do Pará certamente tiveram como principal fonte os granitoides do embasamento, com menor contribuição dos metamorfitos do Gurupi, que parecem ter exercido maior importância nos sedimentos da Plataforma continental. A presença de grãos em diferentes estágios de arredondamento, desde arredondados a não arredondados, com apresentação da morfologia dos cristais, alongados a subsféricos, demonstram a reciclagem desses minerais, sem perder as rochas fontes primárias, pelo menos para o zircão, demonstrado pela sua ligeira homogeneidade química. As razões Zr/Hf ligeiramente variáveis demonstram a presença de zircões distintos, mas que se distribuem indistintamente nas três unidades de sedimentos investigadas (Figura 36), e se confrontadas com os valores de Nb ou ETR x Zr x Nb descrevem, no entanto, os sedimentos de Fundo como uma unidade à parte (Figura 36). Isto pode sugerir uma possível contribuição de fatores externos, como a Plataforma Continental, pelo menos relativo ao zircão, o único para o qual se obteve dados químicos.

CONCLUSÕES

A assembleia de minerais pesados identificada é a mesma para as três unidades de sedimentos investigadas no estuário do rio Marapanim, tanto em termos de espécies, de frequência relativa quanto em aspectos morfológicos e inclusões minerais. As diferenças encontradas foram muito sutis, como alteração parcial via dissolução de alguns minerais, por exemplo estaurolita, especialmente na Planície Lamosa, em decorrência de suas condições extremamente ácidas e redutoras, características estas típicas de manguezais. Com isto se concluiu que a Formação Barreiras é a principal fonte dos demais sedimentos. Apenas os sedimentos de Fundo a partir da química dos zircões demonstrou ter havido contribuições prováveis de outras fontes, aqui sugerido ter sido via Plataforma Continental, embora não se disponha de dados químicos para esse mineral nesta unidade.

Ao final o trabalho apresenta uma vasta ilustração dos grãos de minerais pesados através de imagens de microscópio ótico e eletrônico, que certamente poderá auxiliar novos estudos desses minerais.

Agradecimentos

Estendem-se os agradecimentos ao Instituto de Geociências, em cujas instalações foram realizadas as análises de extração e identificação dos minerais pesados, amparados pela infraestrutura do Museu Paraense Emílio Goeldi. Também ao CNPQ pela concessão de auxílios financeiros via bolsa de produtividade e projeto de pesquisa (304333/2003-4).

REFERÊNCIAS

- Addad, J.E. 2001. Minerais pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental, 69 p., CD-ROM de imagens.
- Behling, H., Costa, M. L. 2004. Mineralogy, geochemistry, and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras Formation of Mosqueiro Island, northeastern Pará State, Eastern Amazonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 17: 285-295.
- Belousova, E., Griffin, W., O'Reilly, S.Y., Fisher, N. 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contrib Mineral Petrol* 143, 602-622 (2002). <https://doi.org/10.1007/s00410-002-0364-7>.
- Berredo, J.F. 2006. Geoquímica dos sedimentos de manguezais do nordeste do Pará: o exemplo do estuário do rio Marapanim, Ano de obtenção: 2006. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica/Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.
- Costa, M.L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(2): 146 -160.
- Costa, J.B.S, Borges, M.S., Bemerguy, R.L., Garrafiolo Fernandes, J.M., Costa Júnior, P.S. 1993. Evolução cenozóica da região de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará. *Revista Geociências (USP)*, 12 (2): 373-396.

- Costa, M.L., Leite, A.S., Pöllmann, P. 2016. A laterite-hosted APS deposit in the Amazon region, Brazil: The physical-chemical regime and environment of formation. *Journal of Geochemical Exploration* 170 (2016) 107-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.015> (<http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.015>)
- Coutinho, J. M. V. e Coimbra, A. M. 1974. O pré-cambriano do Vale do Rio Doce como fonte alimentadora de sedimentos costeiros. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1974. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1974. p. 27-41.
- Deng, J., Wang, Q., Yang, S., Liu, X., Yang, Y., Zhang, Q., Yang, L., Yang, Y. 2010. Genetic relationship between the Emeishan plume and the bauxite deposits in Western Guangxi, China: Constraints from U-Pb and Lu-Hf isotopes of the detrital zircons in bauxite ores. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37 (5-6): 412-424. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2009.10.005>.
- Dill, G.H., Weber, B., Klosa, D. 2012. Morphology and mineral chemistry of monazite-zircon-bearing stream sediments of continental placer deposits (SE Germany): Ore guide and provenance marker. *Journal of Geochemical Exploration*, 122: 322-346. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.10.006> (<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.10.006>).
- Galehouse, J.S., 1971. Point counting. In: Carver, R.E. (Ed.), *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley-Interscience, New York, pp. 385 - 407
- Góes A.M. 1981. Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, IPIXUNA e Itapecuru, no nordeste do Pará e noroeste do Maranhão. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 55 p.
- Gu, J., Huang, Z., Fan, H., Ye, L., Jin, Z. 2013. Provenance of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, Northern Guizhou Province, China: LA-ICP-MS and SIMS U-Pb dating of detrital zircons. *Journal of Asian Earth Sciences*, 70-71: 265-282. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.03.018> (<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.03.018>).
- Heaman, L., Tarney, J. 1989. U-Pb baddeleyite ages for the Scourie dyke swarm, ... *Nature* 340, 705-708 (1989). <https://doi.org/10.1038/340705a0> (<https://doi.org/10.1038/340705a0>).
- Li, H. Watanabe, K. Yonezu, K. 2014. Zircon morphology, geochronology and trace element geochemistry of the granites from the Huangshaping polymetallic deposit, South China: Implications for the magmatic evolution and mineralization processes. *Ore Geology Reviews*, 60: 14-35. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.12.009> (<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.12.009>)
- Mange, M.A., Maurer, H.F.W. 1992. *Heavy Mineral in Colour*. London Chapman & Hall, 147. <https://doi.org/10.1180/minmag.1992.056.384.22> (<https://doi.org/10.1180/minmag.1992.056.384.22>).
- Martins, H.C.B., Simões, P.P., Abreu, J. 2014. Zircon crystal morphology and internal structures as a tool for constraining magma sources: Examples from northern Portugal Variscan biotite-rich granite plutons. *C.R. Geoscience*, 345: 233-243. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2014.07.004> (<https://doi.org/10.1016/j.crte.2014.07.004>).
- Murali, A.V., Parthasarathy, R., Mahadevan, T.M., Sankar Das, M. 1983. Trace element characteristics, REE patterns and partition coefficients of zircons from different geological environments—a case study on Indian zircons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47 (11): 2047-2052. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90220-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90220-X) ([https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90220-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90220-X)).
- Nascimento, M.S. & Góes, A. M., 2007. Petrografia de arenitos e minerais pesados de depósitos cretáceos (Grupo Itapecuru), Bacia de São Luís-Grajaú norte do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(1): 50-63. [10.25249/0375-7536.20073715063](https://doi.org/10.25249/0375-7536.20073715063).
- Oliveira, G.K.M., e El-Robrini, M 2007. Ocorrência De Minerais Pesados Transparentes E Não-Micáceos Na Plataforma Continental Do Pará. XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar -XII COLACMAR Florianópolis, 15 a 19 de abril de 2007.
- Pantoja H.M. 2015. Mineralogia, geoquímica e minerais pesados do perfil laterito-bauxítico com cobertura e sua relação com o Grupo Itapecuru: Lavra piloto Ciriaco (Rondon do Pará). Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 70 p.
- Pantoja, H.M. e Costa, M.L. 2021. Heavy Minerals and zircon Morphology: Proxies between Rondon do Pará bauxites and Itapecuru Rocks. *Journal of South American Earth Science* (*Submetido em 04.02.2021*).
- Pupin J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contribution to mineralogy and petrology*, Berlin /Heidelberg, 73: 207 - 220. <https://doi.org/10.1007/BF00381441> (<https://doi.org/10.1007/BF00381441>).
- Pupin J.P. 2000. Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sci.*, 91: 245-256. <https://doi.org/10.1017/S0263593300007410> (<https://doi.org/10.1017/S0263593300007410>).
- Rossetti, D.F.; Truckenbrodt, W.; Góes, A.M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, 1(1): 25-74.
- Rossetti, D.F., W. Truckenbrodt. 1997. Classificação estratigráfica para o Albiano - Terciário inferior (?) na Bacia de São Luis, MA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciências da Terra*, 9: 31 - 43.
- Shahbazi, H., Salami, S., Siebel, W. 2014. Genetic classification of magmatic rocks from the Alvand plutonic complex, Hamedan, western Iran, based on zircon crystal morphology. *Chemie der Erde*, 74: 577- 584. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2013.11.001> (<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2013.11.001>)
- Silva C. A. 1998. Análise morfoestratigráfica do estuário do rio Marapanim - NE do Pará. Tese de Mestrado em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade federal do Pará, Belém, p. 133.
- Taylor S.R. & Mclennan S.M. 2001. *Chemical composition and element distribution in the earth's crust*. New York, Academic Press, v. 2, p. 697-719.

Zhao, L., Liu, X.: 2017: metamorphic and tectonic implications of detrital zircon U-Pb, Hf isotopes, and detrital feldspar geochemistry of late carboniferous karstic bauxite on the southern margin of the North China Craton. *Lithos*, 350-351. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105222> (<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105222>).

 10.31419/ISSN.2594-942X.v82021i1a3JTS (<http://doi.org/10.31419/ISSN.2594-942X.v82021i1a3JTS>)



(<http://gmga.com.br>)
Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada
contato@gmga.com.br



(<http://legacyportal.issn.org/cgi-bin/gw/chameleon?>

[sessionid=2018022015141632183&skin=unrestricted&lng=en&inst=consortium&host=localhost%2b5000%2bDEFAULT&patronhost=localhost%205000%20DEFAULT&search=I942X%22&beginsrch=1](http://legacyportal.issn.org/cgi-bin/gw/chameleon?sessionid=2018022015141632183&skin=unrestricted&lng=en&inst=consortium&host=localhost%2b5000%2bDEFAULT&patronhost=localhost%205000%20DEFAULT&search=I942X%22&beginsrch=1))

BOMGEAM ISSN 2594-942X (<http://legacyportal.issn.org/cgi-bin/gw/chameleon?>

[sessionid=2018022015141632183&skin=unrestricted&lng=en&inst=consortium&host=localhost%2b5000%2bDEFAULT&patronhost=localhost%205000%20DEFAULT&search=I942X%22&beginsrch=1](http://legacyportal.issn.org/cgi-bin/gw/chameleon?sessionid=2018022015141632183&skin=unrestricted&lng=en&inst=consortium&host=localhost%2b5000%2bDEFAULT&patronhost=localhost%205000%20DEFAULT&search=I942X%22&beginsrch=1))