



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MARÍLIA CARVALHO TEIXEIRA**

**ESTUDO MINERALÓGICO E GEOQUÍMICO DOS SEDIMENTOS DA  
REGIÃO COMPREENDIDA ENTRE A FOZ DO RIO ARAGUARI E OS  
CINTURÕES LACUSTRES, NA ZONA COSTEIRA DO ESTADO DO  
AMAPÁ**

**BELÉM - PARÁ**

**ABRIL – 2013**

**MARÍLIA CARVALHO TEIXEIRA**

**ESTUDO MINERALÓGICO E GEOQUÍMICO DOS SEDIMENTOS DA  
REGIÃO COMPREENDIDA ENTRE A FOZ DO RIO ARAGUARI E OS  
CINTURÕES LACUSTRES, NA ZONA COSTEIRA DO ESTADO DO  
AMAPÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Geologia do  
Instituto de Geociências da Universidade  
Federal do Pará - UFPA, em cumprimento  
às exigências para obtenção do grau de  
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco  
Berrêdo Reis da Silva  
Coorientador: Prof. Dr. Rômulo Simões  
Angélica

**Belém  
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

T266e Teixeira, Marília Carvalho

Estudo mineralógico e geoquímico dos sedimentos da região compreendida entre a Foz do rio Araguari e os Cinturões Lacustres, na Zona Costeira do estado do Amapá/ Marília Carvalho Teixeira; Orientador: José Francisco Berrêdo Reis da Silva; Coorientador: Rômulo Simões Angélica– 2013

99 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2012.

1. Mineralogia. Geoquímica de sedimentos. Proveniência. Zona Costeira do Amapá. I. Silva, José Francisco Berrêdo Reis da *orient.* II. Angélica, Rômulo Simões, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22<sup>a</sup> ed.: 549.098116

---

**MARÍLIA CARVALHO TEIXEIRA**

**ESTUDO MINERALÓGICO E GEOQUÍMICO DOS SEDIMENTOS DA  
REGIÃO COMPREENDIDA ENTRE A FOZ DO RIO ARAGUARI E OS  
CINTURÕES LACUSTRES, NA ZONA COSTEIRA DO ESTADO DO  
AMAPÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Geologia do  
Instituto de Geociências da Universidade  
Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às  
exigências para obtenção do grau de  
Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

**José Francisco Berrêdo Reis da Silva – Orientador**

Doutor em Geoquímica de Sedimentos de Manguezais  
Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG

---

**Prof<sup>o</sup>. Marcondes Lima da Costa – Membro**

Doutor em Mineralogia e Geoquímica  
Universidade Federal do Pará

---

**Prof<sup>o</sup>. Afonso Cesar Nogueira – Membro**

Doutor em Geologia  
Universidade Federal do Pará

*Ao meu pai, Vauli Favacho, professor da minha vida;  
A minha mãe, Maria Carvalho, e a minha irmã, Letícia Carvalho, amor e carinho  
incondicionais (Obrigada por sempre acreditarem em mim!).*

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho contou com o apoio de instituições e pessoas aos quais expresso meus sinceros agradecimentos.

Inicialmente, agradeço ao Projeto AMASTRAT (História Geológica da Região do Lagos do Amapá e Adjacências: estratigrafia recente, neotectônica e hidrodinâmica), coordenado pela Prof<sup>a</sup>. Dra. Odete Fátima Machado da Silveira, pela concessão das amostras, mapas e financiamento das análises químicas, indispensáveis para a realização deste trabalho.

Agradeço a Universidade Federal do Pará (UFPA), através da Faculdade de Geologia e ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), através do Centro de Ciências da Terra e Ecologia (CCTE), por incentivarem meu desenvolvimento acadêmico e profissional, dando condições, por meio do uso de laboratórios, equipamentos e material didático.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro recebido sob a forma de Bolsa de Iniciação Científica.

Agradeço, em especial, ao Dr. José Francisco Berrêdo, pela oportunidade de desenvolver este trabalho e pelos ensinamentos, discussões e conselhos que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, como também para meu amadurecimento profissional e pessoal.

Ao Prof<sup>o</sup> Rômulo Simões Angélica pela co-orientação.

Ao corpo docente do Instituto de Geociências, em especial aos professores, Rosemary Nascimento, Vânia Maria Barriga, Joel Macambira, Régis Munhóz, Roberto Vizeu, Cláudio Lamarão e Joelson Soares.

A doutoranda Socorro Vilhena, pelo incentivo, discussões e apoio nas horas difíceis.

A mestranda Gisele Tavares Marques, pelo apoio indispensável desde o início desta pesquisa e até os últimos momentos.

Meu especial agradecimento ao Prof<sup>o</sup> Vladimir Távora, pelo carinho com que sempre me tratou e por todo o apoio recebido nestes cinco anos de curso. Muito obrigada!

Aos meus colegas da Turma de 2013, em especial a Carla Braga, Carla Batista, Luiz Fernando, Paulo Victor Dias, Cláudia Martins, Felipe Garcia, Aldemir Sotero, Edson Rodrigues, Luísa Barros e Carlos Alberto, amigos dos bons e melhores momentos.

Agradeço em especial as minhas amigas e eternas companheiras de luta e de quarto da CAESUN (Casa da Estudante Universitária da UFPA), foram cinco anos inesquecíveis.

A minha queridíssima amiga Adriane Carvalho, por todos os momentos impagáveis ao meu lado. Sua amizade significa muito pra mim!

Ao cursinho pré-vestibular do Projeto Cabanos de Castanhal, pelo apoio necessário para que eu pudesse ingressar na Universidade.

A minha família (Vauli, Maria e Letícia), razão do meu viver e único motivo pelo qual eu procuro melhorar a cada dia, em busca de um futuro melhor a que eu possa dedicá-los.

A Deus, pelo dom do conhecimento a mim concedido e pela paz de espírito necessária para superar obstáculos.

“É melhor atirar-se à luta em busca de dias melhores, mesmo correndo o risco de perder tudo, do que permanecer estático, como os pobres de espírito, que não lutam, mas também não vencem, que não conhecem a dor da derrota, nem a glória de ressurgir dos escombros. Esses pobres de espírito, ao final de sua jornada na Terra não agradecem a Deus por terem vivido, mas desculpam-se perante Ele, por terem apenas passado pela vida.”

*Bob Marley*

## RESUMO

Os sedimentos terciários e quaternários da região situada entre a foz do Rio Araguari e os Cinturões Lacustres, no Estado do Amapá, compreendem areias, areias siltsosas, siltes e siltes arenosos. Mineralogicamente são compostos por quartzo (56%), muscovita (18%), albita (6%), K-feldspatos (traços) e argilominerais, além de óxidos e hidróxidos de ferro e minerais pesados transparentes e opacos. Os argilominerais são compostos por esmectita (53%), caulinita (33%) e illita (14%), além de clorita em quantidades traço. Dentre os minerais pesados transparentes foram identificadas 13 espécies distintas, representadas por três associações principais: as assembleias A (epidoto-hornblenda-hiperstênio-diopsídio-granada) e B (epidoto-zircão-hornblenda-turmalina) correspondem aos sedimentos finos do quaternário e indicam influência de área-fonte de composição predominantemente máfica-ultramáfica e também rochas ígneas félsicas e sedimentares; o conteúdo da assembleia C (zircão-epidoto-turmalina-estaurolita-hornblenda), referente aos sedimentos mais grossos do Terciário, indica influência por área-fonte de composição principalmente félsica, como também rochas sedimentares, e ainda rochas máficas, de forma secundária. Os valores de CIA demonstram que, tanto os sedimentos terciários (> 90) quanto os quaternários (75-85) foram afetados por condições elevadas de intemperismo, sendo mais acentuadas nas amostras do Quaternário. A depleção em La, Th, Sc e Hf, e o conteúdo mais elevado de Co nos sedimentos quaternários reflete a elevada concentração de minerais ferromagnesianos (assembleias A e B) e a sua derivação a partir das rochas da Cordilheira dos Andes e dos sedimentos da Bacia do Solimões. As amostras do Terciário, no entanto, possuem composição mais enriquecida em La, Th, Hf e Zr, indicando abundância de minerais resistentes (assembleia C), como também derivação a partir de fontes mais félsicas dos Escudos Pré-cambrianos e sedimentos retrabalhados da Bacia Sedimentar do Amazonas, misturados em diversas proporções. Portanto, as variações na distribuição dos minerais e elementos químicos nos sedimentos terciários e quaternários estão relacionadas a dois fatores principais: seleção hidráulica durante o transporte e influência de áreas-fonte de composição distinta.

Palavras-chave: Mineralogia. Geoquímica de sedimentos. Proveniência. Zona Costeira do Amapá.

## ABSTRACT

The tertiary and quaternary sediments of the region between the mouth of the Rio Araguari and Belts Lacustres in the state of Amapá, comprising sands, silty sands, silts and sandy silts. Mineralogically consist of quartz (56%), muscovite (18%), albite (6%), K-feldspar (trace) and clay as well as oxides and hydroxides of iron and heavy mineral transparent and opaque. The clay minerals are composed of smectite (53%), kaolinite (33%) and illite (14%), and chlorite in trace amounts. Among the transparent heavy minerals were identified 13 distinct species, represented by three major associations: assemblies A (epidote-hornblende-hypersthene-diopside-garnet) and B (epidote-zircon-hornblende-tourmaline) correspond to the fine sediments of Quaternary and indicate influence of source area of predominantly mafic-ultramafic composition and also felsic igneous and sedimentary; the content of the assembly C (zircon-epidote-tourmaline-staurolite-hornblende), referring to the coarser sediments of Tertiary indicates influences by source area of mainly felsic composition, as well as sedimentary rocks, mafic and yet so secondary. CIA values show that both tertiary sediments (> 90) as the quaternary (75-85) were affected by high weathering conditions, being more pronounced in the samples of Quaternary. The depletion in La, Th, Sc and Hf, and higher content of Co in the Quaternary sediments reflects the high concentration of ferromagnesian minerals (assemblies A and B) and its derivation from rocks of the Andes and sediment Solimões Basin. Tertiary samples, however, have more enriched composition of La, Th, Hf and Zr, indicating abundant mineral ultraestables (assembly C), as well as derivation from felsic more sources of Precambrian Shield sand recycled sediments from the Amazon Basin, mixed in various proportions. Therefore, variations in the distribution of minerals and chemical elements in the tertiary and quaternary sediments are related to two main factors: hydraulic fractionation during transport and influence of source areas of different composition.

Keywords: Mineralogy. Geochemistry of sediments. Provenance. Coastal Zone of Amapá.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. Imagem LANDSAT TM 5. ....	20
Figura 2 - Unidades morfoestruturais do Estado do Amapá. ....	23
Figura 3 - Mapa de localização dos cinturões lacustres da Planície Costeira do Amapá. 1) Cinturão Lacustre Oriental; 2) Cinturão Lacustre Meridional; 3) Cinturão Lacustre Ocidental. ....	25
Figura 4 - Mapa geológico simplificado do Estado do Amapá. ....	26
Figura 5 - Mapa de amostragem da área de estudo, ilustrando a distribuição areal dos pontos de coleta. ....	31
Figura 6 - Valores percentuais dos componentes granulométricos dos sedimentos terciários (A) e quaternários (B), e a classificação dos sedimentos estudados (C), ....	35
Figura 7 - Valores percentuais dos componentes mineralógicos dos sedimentos estudados. ....	38
Figura 8 - Difratoogramas de Raios-X para amostra total dos sedimentos quaternários (A e B) e terciários (C e D), destacando a composição mineralógica principal. Qz – quartzo; K/Clo – caulinita/clorita; Ms – muscovita; K – caulinita; Ab – albita; Clo – clorita. ....	40
Figura 9 - Valores percentuais dos argilominerais presentes nos sedimentos estudados. ....	41
Figura 10 - Difratoogramas de raios-X para a fração argila, ilustrando os picos dos principais constituintes mineralógicos, em amostra orientada (OR), glicolada (GL) e aquecida (AQ) a 550°C/2h. E/Clo – esmectita/clorita; I – illita; K – caulinita; Qz – quartzo. ....	43
Figura 11 - Distribuição dos principais minerais pesados não opacos por toda a extensão da área de estudo, referentes à Formação Barreiras, região dos Lagos e foz do rio Araguari (valores em porcentagem). ....	47
Figura 12 - Gráfico com a distribuição das proporções relativas dos minerais pesados opacos e transparentes (valores em porcentagem). ....	49
Figura 13 - Microfotografias, sob luz natural, dos grãos de epidoto, mostrando grãos de coloração verde amarelada, preferencialmente irregulares, alguns com aspectos corroído, outros mostram inclusões de minerais opacos. ....	51
Figura 14 - Microfotografias, sob luz natural, dos grãos de zircão, ilustrando a grande variedade de formas ocorrentes nos sedimentos estudados, principalmente grãos prismáticos bipiramidais, subédricos, grãos subarredondados e também fragmentos angulosos. ....	53
Figura 15 - Microfotografia, sob luz natural, dos grãos de hornblenda e sua morfologia variada, nas variedades hornblenda comum e hornblenda basáltica. ....	54
Figura 16 - Microfotografias, sob luz natural, dos grãos de turmalina, mostrando as diferentes variedades desta espécie mineral, bem como as diferentes formas como estas se apresentam nos sedimentos estudados. ....	55
Figura 17 - Microfotografia, sob luz natural, dos grãos de hiperstênio, destacando prismas alongados e curtos, como também, destaque para feições de corrosão na superfície de alguns grãos, demonstrando feições de dissolução química. ....	57
Figura 18 - Microfotografia, sob luz natural, dos grãos de diopsídio, mostrando grãos preferencialmente prismáticos, curtos, também grãos irregulares com extremidades denteadas, e ainda, feições de corrosão na superfície dos grãos. ....	58

Figura 19 - Microfotografias de estaurolita, mostrando grãos angulosos, subangulosos, subarredondados, com inclusões fluidas e de minerais opacos, e feições de dissolução química (“crista de galo”).	59
Figura 20 - Microfotografia dos grãos de rutilo, destacando grãos irregulares com formas predominantemente angulosas.	60
Figura 21 - Microfotografias dos grãos de granada, destacando grãos irregulares, angulosos e com feições corrosivas.	60
Figura 22 - Microfotografia de grãos de cianita, com destaque para o hábito prismático alongado e também para a clivagem ortogonal (90 <sup>0</sup> ) característica.	61
Figura 23 - Microfotografia dos grãos de silimanita identificados nos sedimentos estudados, destacando grãos preferencialmente prismáticos e alongados.	62
Figura 24 - Microfotografias, sob luz natural, dos grãos de andaluzita, destaque para grãos angulosos a subangulosos.	62
Figura 25 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos grãos de zircão dos sedimentos da Formação Barreiras: (B, D, F) cavidades na superfície dos grãos; (C, D, F) grãos prismáticos subarredondados; (G, H) grãos intensamente fraturados; (E, F, G, H, I) feições de desgaste mecânico.	64
Figura 26 - Micromorfologia dos grãos de turmalina da Formação Barreiras, com destaque para feições de dissolução química em B; indícios de desgaste mecânico em C e D. Em A, a área em destaque mostra um fragmento de platina oriundo da metalização.	64
Figura 27 - Imagens de MEV dos grãos de estaurolita da Formação Barreiras: grãos mostrando feições corrosivas (A, B, C, D); fratura conchoidal nos grãos (E, F); geminação em cotovelo (B, F).	65
Figura 28 - Imagens de MEV dos grãos de epidoto da região dos lagos, mostrando grãos subarredondados (A, B) e angulosos (C, D), com destaque para as cavidades de dissolução química na superfície dos grãos.	66
Figura 29 - Imagens de MEV dos zircões da região dos lagos, mostrando: prismas euédricos com terminação bipiramidal e fácies cristalinas bem definidas (A, B, C) e grãos subarredondados (F, G) e arredondados (H); zoneamento composicional (C); feições de impacto mecânico (D, G); fraturamento (E); e cavidades geradas por inclusões (H).	66
Figura 30 - Micromorfologia dos grãos de hornblenda da região dos lagos, mostrando grãos prismáticos subédricos, com destaque para as terminações angulosas (A, B) e subangulosas (C, D).	66
Figura 31 - Imagens de MEV dos grãos de turmalina dos sedimentos referentes à região dos lagos, mostrando grãos prismáticos (A, B, C, D, E) e grão arredondado (F); destaque para feição de ataque químico (corrosão) (B, E).	67
Figura 32 - Micromorfologia dos grãos de epidoto da foz do rio Araguari, destaque para o aspecto escamoso (A, B, C) em alguns grãos, indicando alteração por dissolução química.	68

Figura 33 - Imagens de MEV das hornblendas da foz do rio Araguari, mostrando grãos prismáticos subangulosos a angulosos; com feição de corrosão (A) e borda com terminação “serrilhada” (B).....	68
Figura 34 - Micromorfologia dos grãos de hiperstênio da foz do rio Araguari, destacando grãos prismáticos, com feições de impacto mecânico (A, B) e de dissolução química (C). .....	68
Figura 35 - Micromorfologia dos grãos de zircão da foz do rio Araguari. Destaque para cristais prismáticos bipiramidais, com fácies cristalinas bem definidas (A, B); cavidades na superfície dos grãos (A, B), provocadas pela retirada de inclusões; e feição de impacto mecânico (C). .....	69
Figura 36 - Micromorfologia dos grãos de anatásio, com destaque para feições de corrosão por ataque químico: aspecto enrugado (A, C, D, E) e cavidades (B, D). .....	70
Figura 37 - Espectro de EDS do anatásio, mostrando os picos principais de Ti e O; e uma pequena quantidade de Fe.....	70
Figura 38 - Micromorfologia dos grãos de ilmenita, mostrando hábito octaédrico com fácies cristalinas bem preservadas (A), além de cavidades nas superfícies dos grãos (A, D, E).....	71
Figura 39 - Espectro de EDS da ilmenita. Destaque para os picos principais de Fe, Ti, O e Mg.....	71
Figura 40 - Coeficientes de correlação r para as amostras do Terciário (A) e Quaternário (B), mostrando ótima correlação entre $Al_2O_3$ e $K_2O$ , nos sedimentos quaternários, fato este não observado nas amostras do Terciário.....	74
Figura 41 - Diagrama $K_2O/Na_2O$ versus $SiO_2/Al_2O_3$ . Valores médios dos sedimentos quaternários e terciários são plotados em comparação com os valores médios dos Folhelhos Australianos Pós-Arqueanos (PAAS) e Folhelhos Norte-americanos Compostos (NASC). .....	74
Figura 42 - Gráfico com a concentração dos elementos-traço presentes nos sedimentos quaternários e terciários em comparação com a as argilas pós-arqueanas. Ambos valores estão normalizados em relação à crosta continental superior. ....	77
Figura 43 - Comparação das concentrações dos ETR nos sedimentos quaternários e terciários da costa amapaense, com a concentração destes na crosta continental, nas argilas pós-arqueanas (PAAS) e nos sedimentos da Formação Barreiras. ....	82
Figura 44 - Diagrama A-CN-K com os valores de CIA para os sedimentos terciários e quaternários, mostrando a tendência do intemperismo para cada conjunto de amostras, juntamente com os valores de NASC, PAAS e os valores médios da crosta continental superior. ....	87
Figura 45 - Diagrama ternário $CaO-Na_2O-K_2O$ para as amostras do Terciário e Quaternário. ....	88
Figura 46 - Diagramas ternários La-Th-Sc e Th-Hf-Co para as amostras do Terciário e Quaternário, demonstrando a influencia de áreas-fonte de composição distinta.....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Identificação das amostras estudadas e o agrupamento por unidade estratigráfica.....	30
Tabela 2 -Valores percentuais da distribuição granulométrica e razão clástica das amostras analisadas. Intervalos das frações granulométricas: areia grossa – 2-0,5mm; areia média – 0,5-0,250mm; areia fina – 0,250-0,125mm; areia muito fina – 0,125-0,062mm; silte – 0,062mm-4 $\mu$ ; argila – < 4 $\mu$ .....	37
Tabela 3 - Estabilidades químicas relativas de alguns dos minerais pesados mais comuns (crescente do topo para a base), durante os processos de intemperismo.....	45
Tabela 4 - Percentuais de ocorrência dos principais minerais pesados transparentes identificados na área de estudo, referentes à fração grossa (0,250-0,125 mm). Ep (epidoto); Tur (turmalina); Est (estauroлита); Zr (zircão); Sil (silimanita); And (andaluzita); Hnb (hornblenda); Gr (granada); Cia (cianita); Rt (rutilo); - (ausente).....	45
Tabela 5 - Percentuais de ocorrência dos principais minerais pesados transparentes identificados na área de estudo, referentes à fração fina (0,125-0,062 mm). Ep (epidoto); Zr (zircão); Hnb (hornblenda); Tur (turmalina); Hp (hiperstênio); Dp (diopsídio); Est (estauroлита); Rt (rutilo); Gr (granada); Cia (cianita); Sil (silimanita); And (andaluzita); Ap (apatita); - (ausente).....	45
Tabela 6 - Índice ZTR dos sedimentos estudados, mostrando uma diminuição no percentual em direção à foz do rio Araguari, muito mais evidente na fração fina (0,125-0,062mm) do que na fração grossa (0,250-0,125mm). Valores em porcentagem relativa.....	48
Tabela 7 - Relação de proporção entre minerais pesados opacos e não opacos (valores em porcentagem) e o total de grãos contados para cada amostra.....	49
Tabela 8 - Valores médios dos sedimentos terciários e quaternários com os valores médios da composição da crosta continental superior e de solos da Amazônia. Valores em porcentagem em peso.....	72
Tabela 9 - Composição química dos sedimentos da zona costeira do Estado do Amapá, incluindo os elementos maiores, C, S e perda ao fogo (LOI).....	75
Tabela 10 - Valores médios das concentrações dos elementos-traço para os sedimentos quaternários (A) e terciários (B) em comparação com os valores crustais; comparação dos valores normalizados em relação aos valores crustais (C). Concentração dos elementos expressas em ppm, com exceção do Au que apresenta valores expressos em ppb.....	78
Tabela 11 - Concentração dos elementos-traço nos sedimentos estudados; valores em ppm, com exceção do Au (valores em ppb).....	80
Tabela 12 - Concentração dos elementos terras raras nos sedimentos da zona costeira do Estado do Amapá (valores em ppm), em comparação com os valores médios da crosta continental superior, da Formação Barreiras e das argilas pós-arqueanas. Valores normalizados em relação à concentração média nos meteoritos condritos.....	81
Tabela 13 - Concentração dos elementos terras raras nos sedimentos terciários e quaternários. Valores em ppm.....	83
Tabela 14 - Razões entre os elementos-traço e ETR nas amostras do Terciário e Quaternário, em comparação com PAAS e Formação Barreiras de Marapanim (PA).....	90

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	19
2.1	OBJETIVO GERAL .....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
3	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	20
4	<b>ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOLÓGICOS DO ESTADO DO AMAPÁ</b> .....	21
4.1	CLIMA .....	21
4.2	HIDROGRAFIA .....	21
4.3	PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS .....	22
4.4	GEOMORFOLOGIA .....	23
4.5	ESTRATIGRAFIA .....	25
4.5.1	<b>Núcleo Arqueano</b> .....	27
4.5.2	<b>Cinturões de Cisalhamento</b> .....	27
4.5.3	<b>Cobertura Plataformar</b> .....	27
4.5.3.1	Formação Barreiras .....	28
4.5.3.2	Depósitos de planície flúvio-estuarina 1 .....	28
4.5.3.3	Depósitos de planície flúvio-estuarina 2 .....	28
4.5.3.4	Depósitos de planície flúvio-estuarina e flúvio-marinha .....	29
4.5.3.5	Depósitos lacustres .....	29
5	<b>METODOLOGIA</b> .....	30
5.1	MATERIAIS .....	30
5.2	MÉTODOS .....	32
5.2.1	<b>Análise Granulométrica</b> .....	32
5.2.2	<b>Análises Mineralógicas</b> .....	32
5.2.2.1	Descrição Mineralógica e Textural dos Minerais Detríticos Leves .....	32
5.2.2.2	Identificação Mineralógica por Difração de Raios-X .....	32
5.2.2.3	Separação e Preparação das Lâminas de Minerais Pesados .....	33
5.2.2.4	Descrição Mineralógica, Textural e Quantificação dos Minerais Pesados .....	33
5.2.2.5	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	34

5.2.3	<b>Análises Químicas Totais</b> .....	34
6	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	35
6.1	GRANULOMETRIA .....	35
6.2	MINERALOGIA .....	37
6.2.1	<b>Minerais Detríticos Leves</b> .....	37
6.2.1.1	Quantificação dos minerais leves .....	37
6.2.1.2	Descrição dos minerais leves .....	38
6.2.2	<b>Argilominerais</b> .....	41
6.2.2.1	Quantificação dos argilominerais .....	41
6.2.2.2	Descrição dos argilominerais .....	41
6.2.3	<b>Minerais Pesados</b> .....	44
6.2.3.1	Quantificação dos minerais pesados .....	45
6.2.3.2	Descrição dos minerais pesados .....	50
6.2.3.3	Micromorfologia dos principais minerais pesados transparentes .....	63
6.2.3.4	Micromorfologia e EDS dos principais minerais pesados opacos .....	69
6.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA .....	71
6.3.1	<b>Elementos Maiores</b> .....	71
6.3.2	<b>Elementos-traço</b> .....	76
6.3.3	<b>Elementos Terras Raras</b> .....	81
6.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE PROVENIÊNCIA .....	84
6.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE INTEMPERISMO E COMPOSIÇÃO DA ÁREA-FONTE .....	86
7	<b>CONCLUSÕES</b> .....	91
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	94

## 1 INTRODUÇÃO

A zona costeira do Estado do Amapá é uma região de intensa acumulação de sedimentos, sendo influenciada diretamente pela descarga hídrica e sedimentar do Rio Amazonas. Nesta região estão expostas sequências de estratos predominantemente argilosos que foram depositados em ambiente possivelmente redutor a alcalino, pantanoso e/ou fluvio-lacustre (MENDES, 1994). Os sedimentos que constituem essa faixa lamosa estão passando por alteração vadosa e freática, perturbação biogênica e enraizamento, responsáveis por modificações no caráter original destes sedimentos.

Segundo Mendes (1994), os sedimentos da costa do Estado do Amapá podem ser reunidos em dois grupos: arenosos e argilosos. O primeiro inclui os minerais detríticos leves (quartzo, feldspatos e micas) e os minerais pesados transparentes e opacos. O segundo grupo inclui os argilominerais e quantidades menores de outros minerais detríticos que também ocorrem nas frações muito finas (p.ex. quartzo).

Os sedimentos do Quaternário guardam um importante registro recente da história geológica da Terra, pois os processos e fenômenos que levaram à sua formação, transporte e acumulação são ainda atuantes. Neste contexto, conhecer a origem dos sedimentos costeiros é de fundamental importância para o entendimento dos diversos e complexos processos geológicos que se desenvolvem nesses ambientes, pois a composição química destes sedimentos está diretamente relacionada à contribuição mineralógica da área-fonte (COSTA et. al., 2004).

Poucos são os trabalhos acadêmicos existentes na literatura com enfoque geológico voltado para a mineralogia e geoquímica dos sedimentos do Estado do Amapá, com destaque para o trabalho de Mendes (1994), o qual faz uma abordagem minuciosa sobre os sedimentos da região, desde descrições petrográficas a correlações estratigráficas recentes, assim como Silveira (1998). O trabalho de Torres (1997) também merece atenção especial, porém este realiza um estudo mais abrangente, a respeito dos sedimentos de fundo dos Canais Norte e Sul do Rio Amazonas, de onde a área de atuação do presente trabalho recebe influência direta. Os primeiros dados acerca da mineralogia dos sedimentos de fundo do Rio Amazonas foram obtidos por Landim et. al. (1978). Posteriormente, Krook (1990) realizou um estudo aprofundado sobre minerais pesados, não só no Rio Amazonas,

mas também de diversos afluentes. Os primeiros estudos sobre os minerais pesados ocorrentes na Plataforma Continental Norte foram realizados por Pomerancblum & Costa (1972) e resultados adicionais referentes à região da foz do Amazonas são encontrados em Faria Jr. et. al. (1993), Silva (1993) e Torres (1993). Dados mais recentes a respeito da geologia e composição mineralógica do Estado do Amapá encontram-se em Silveira et. al. (2004) e Silveira & Santos (2006).

Busca-se através deste estudo obter informações a respeito da distribuição e proveniência dos sedimentos quaternários e terciários na zona costeira do Estado do Amapá, visando definir a(s) possível (eis) área(s)-fonte(s), estabelecendo direções preferenciais de transporte, baseando-se no conteúdo mineralógico e nos componentes geoquímicos dos sedimentos. Além disso, os resultados desses estudos devem ser úteis para o melhor entendimento da história geológica recente da região.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo principal a caracterização dos constituintes mineralógicos e químicos dos sedimentos quaternários e terciários na zona costeira do Estado do Amapá, bem como obter informações a respeito da distribuição e proveniência destes.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

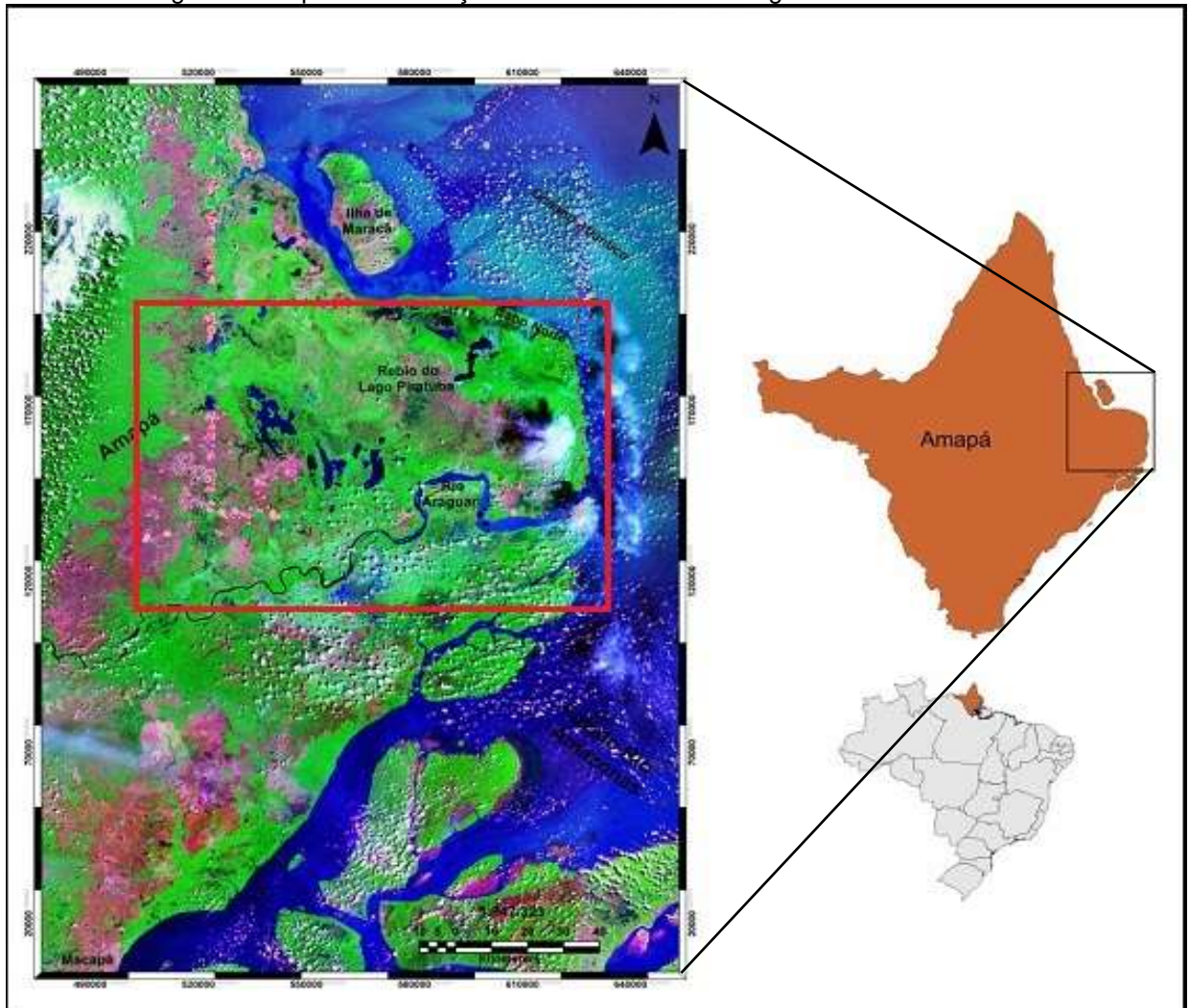
- a) Identificar e quantificar os principais constituintes mineralógicos e químicos dos sedimentos terciários e quaternários da costa amapaense.
  
- b) Identificar a (s) área (s)-fonte dos sedimentos estudados.

### 3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de atuação do presente trabalho localiza-se na porção centro-leste do Estado do Amapá, estando situada desde a foz do Rio Araguari até a Região dos Lagos ao longo da BR-156, que une a cidade de Tartarugalzinho ao Lago Duas Bocas até a Estação Ecológica Maracá-Jipioca (Figura 1).

Nesta área estão inseridas duas reservas federais: Reserva Biológica do Lago Piratuba e a Estação Ecológica Maracá-Jipioca, ambas gerenciadas pelo Instituto Chico Mendes.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. Imagem LANDSAT TM 5.



Fonte: Projeto AMASTRAT (2008).

## 4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOLÓGICOS DO ESTADO DO AMAPÁ

### 4.1 CLIMA

O Estado do Amapá, em sua totalidade, é influenciado pelo clima Equatorial Superúmido, com temperaturas elevadas e alta umidade relativa do ar. Com duas estações bem definidas – inverno (chuvoso) e verão (estiagem) – a temperatura média anual varia entre 25 °C e 27 °C. A máxima absoluta pode-se estimar em 36°C e a mínima 20°C (GOVERNO DO ESTADO DO AMAPÁ, 2013).

O regime pluviométrico do litoral amapaense é tropical, com uma distribuição das precipitações variável anualmente, caracterizada por um período bastante chuvoso com mais de 70% do total anual (BEZERRA et. al., 1990), que vai desde janeiro até o mês de julho, com excedentes hídricos entre 900 e 1.700 mm e acompanhado do intenso escoamento superficial, cheia dos rios e ampla inundação da planície. O período de estiagem começa em agosto e se prolonga até dezembro, com baixos índices de precipitação, ficando entre 100 e 550 mm. A média anual da precipitação pluviométrica para o Estado do Amapá é superior a 2.500 mm.

### 4.2 HIDROGRAFIA

A planície costeira do Amapá apresenta baixa densidade de drenagem, padrão paralelo bem definido, onde predominam rios consequentes de sinuosidade mista, angularidade média, tropia unidirecional e assimetria fraca (MENDES, 1994). Cerca de 39% da bacia hidrográfica do Estado faz parte da Bacia do Amazonas.

A rede hidrográfica do Amapá é formada por rios que desempenham um grande papel econômico na região desde a atividade pesqueira até o transporte hidroviário. Dessa forma, os principais rios que cortam a zona costeira são: Araguari, Flechal, Calçoene, Cunani, Cassiporé, Uaçá e Oiapoque.

De acordo com Mendes (1994), dentre os rios anteriormente citados, o rio Araguari é o que apresenta maior largura, extensão e volume d'água, tratando-se de um rio levemente meandrante, principalmente em seu baixo curso, onde também desenvolvem-se amplos terraços e planícies de inundação. Os rios Flechal, Calçoene e Cunani são também meandrantes, com orientação para ENE e foz em estuário, a exemplo do que ocorre no rio Araguari. Os rios Cassiporé e Uaçá formam meandros e fluem segundo a direção NE no trecho que atravessam a extensa

superfície pediplana que recobre litologias pré-cambrianas e sedimentos fanerozóicos, até o contato com os sedimentos quaternários da planície costeira, onde seus cursos sofrem uma brusca mudança para N.

O rio Oiapoque apresenta um curso bastante retilíneo, possivelmente em função do forte controle estrutural exercido pelo lineamento de mesmo nome, orientado segundo a direção N25E, de acordo com Lima et. al. (1974). Estes autores defendem que o rio Oiapoque é cortado por falhas e/ou fraturas transversais, formando pequenas cachoeiras e/ou corredeiras desenvolvidas sobre diques de diabásio, associados ao Lineamento Cassiporé.

#### 4.3 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

A zona costeira do Amapá é influenciada diretamente pela extraordinária descarga hídrica e sedimentar do rio Amazonas (da ordem de 1 trilhão m<sup>3</sup>/ano), e também pela Zona de Convergência Intertropical, fatores estes que estabelecem um ambiente de alta energia hidrodinâmica, principalmente na desembocadura do rio Amazonas, propiciando o desenvolvimento da maior zona estuarina do mundo. De acordo com Prost (1991), cerca de 16% da água doce e 10% dos sedimentos lançados anualmente nas águas do Oceano Atlântico, são oriundo do rio Amazonas.

Processos hidrodinâmicos são bastante ativos não só na desembocadura do rio Amazonas, como na plataforma continental adjacente, onde ondas produzidas por ventos alíseos, amplitudes elevadas e correntes de marés de intensidades significativas, acima de 2 m/s, influem fortemente na dispersão dos sedimentos em direção a NW e, conseqüentemente, na evolução morfossedimentar da costa do Amapá (NITTROUER et. al., 1991 apud MENDES, 1994). Quase que toda a carga sedimentar trazida pelas águas do rio Amazonas é transportada para NW, ao longo do litoral amapaense, por ação da Corrente das Guianas.

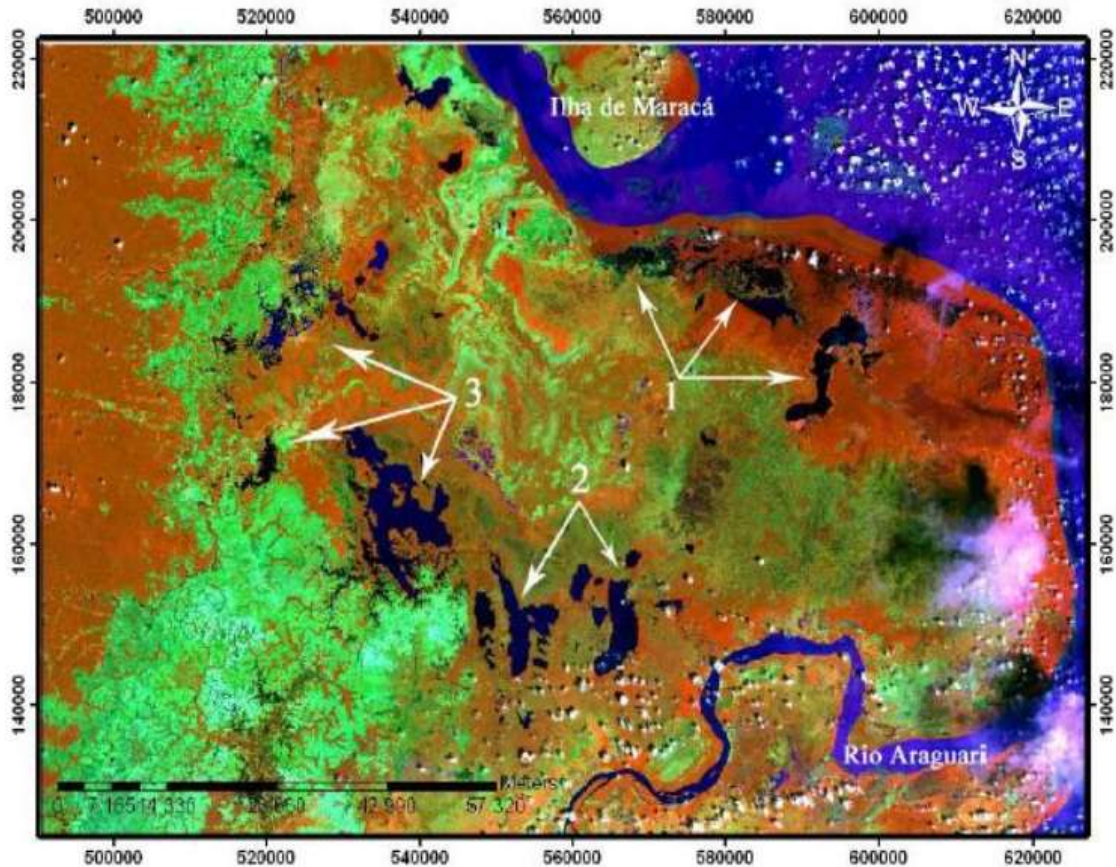
Uma grande variação de maré semi-diurna na porção sul da costa do Amapá produz fortes correntes de maré perpendiculares à linha de costa, sendo submetida a um regime macrotidal (amplitude >4 m), tornando-se mesotidal (<4 m) em direção às Guianas. A amplitude média de maré nessa região é de 5,2 m, podendo atingir 8,0 m durante as marés de sizígias, e na região da Ilha de Maracá alcançam 11-12 m, sendo estas últimas as maiores amplitudes de marés registradas no Brasil (DHN, 2011).



A área de atuação do presente trabalho abrange a Planície Costeira e o Planalto Rebaixado, os quais correspondem à faixa de ocorrência dos sedimentos quaternários, de ambiente fluvial, flúvio-lacustre e flúvio-marinho, e aos depósitos sedimentares da Formação Barreiras, onde é identificada uma extensa faixa de platôs. Segundo Petri e Fúlfaro (1983), a Planície Costeira do Amapá é caracterizada como uma região plana, baixa, constituída por argilas depositadas, quer em ambientes de mangue, quer em níveis mais elevados, com grandes extensões também alagáveis pelas preamares mais lançantes. Nessa região encontram-se numerosos lagos definindo um enorme sistema lacustrino, sem influência marinha. Além disso, são comuns os depósitos arenosos dos rios Araguari, Cassiporé, Uaçá, Calçoene, Amapá Grande, Flechal e Cunani, caracterizando um ambiente misto de sedimentação (LIMA et. al., 1974).

Segundo Silveira e Santos (2006), na planície costeira do Estado do Amapá são distinguíveis duas regiões que se sobressaem devido ao quadro hidrodinâmico (macromarés e fortes correntes). A primeira é a Região do Lagos do Amapá, os quais se desenvolveram a partir de meandros abandonados e partes de antigas drenagens. Esse sistema lacustre foi diferenciado em três grandes cinturões: Cinturão Lacustre Oriental, Meridional e Ocidental (SILVEIRA, 1998), como ilustrado na Figura 3. A segunda região abrange a porção costeira entre o Rio Amapá Grande e a foz do Rio Araguari, tratando-se de uma região de baixo gradiente, submetida ao regime de macromarés semi-diurnas.

Figura 3 - Mapa de localização dos cinturões lacustres da Planície Costeira do Amapá. 1) Cinturão Lacustre Oriental; 2) Cinturão Lacustre Meridional; 3) Cinturão Lacustre Ocidental.



Fonte: Bosnic (2008).

#### 4.5 ESTRATIGRAFIA

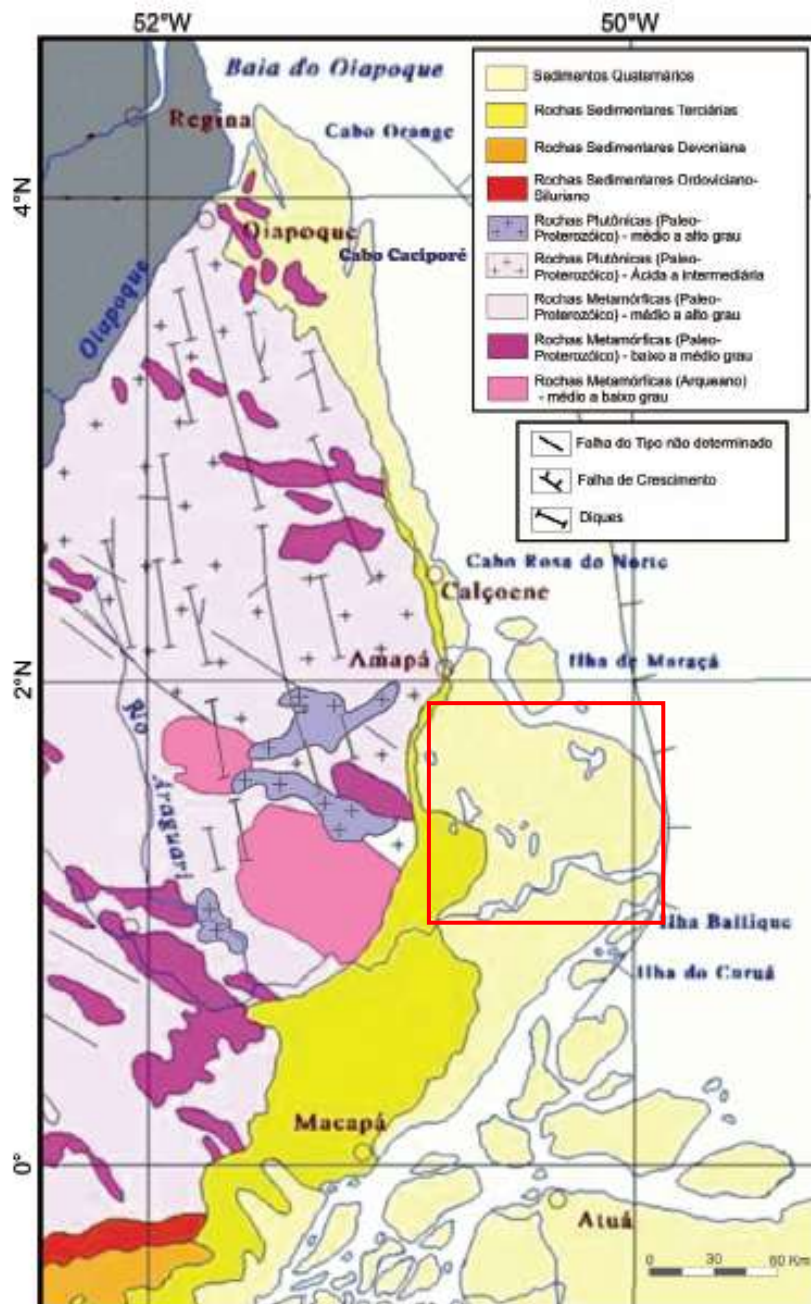
No Cráton Amazonas, a região constituída predominantemente pelas rochas geradas pelo Ciclo Orogênico Transamazonas constitui a Província Transamazonas (Santos et. al., 2000), a qual é composta predominantemente por terrenos do tipo granitóide-greenstone. No Brasil sua extensão tem sido limitada ao Estado do Amapá, porém dados recentes de Macambira et. al. (2001) e Bizzi et. al. (2003) mostram que parte da região ao norte de Carajás no Pará é constituída por crosta pós-arqueana que pode representar a extensão da Província Transamazonas para sul do Amapá, por sob a cobertura fanerozóica.

Essa província é constituída por cinco tipos básicos de unidades litoestratigráficas: a) o Complexo Guianense, que representa as regiões desconhecidas; b) as rochas de alto grau, arqueanas ou com importante herança arqueana; c) as supracrustais de terrenos granitóide-greenstone transamazônico, tipo Vila Nova; d) os granitóides transamazônicos, com idades entre 2206 e 2060

Ma, representando diversas fases de evolução orogênica transamazônica; e) os granitóides pós-Transamazonas, gerados em situação intraplaca no final do Paleoproterozóico.

Alguns mapeamentos geológicos realizados no Estado do Amapá, desde a década de 1970 (RADAM, 1974; LIMA et. al., 1991; SANTOS et. al., 2006), propõem uma divisão litoestratigráfica simplificada para o estado em questão, sendo seu arcabouço geológico agrupado em três unidades geotectônicas distintas: o Núcleo Arqueano, os Cinturões de Cisalhamento e a Cobertura Plataformal (Figura 4).

Figura 4 - Mapa geológico simplificado do Estado do Amapá.



Fonte: Modificado de Nittrouer et. al. (1996).

#### 4.5.1 **Núcleo Arqueano**

O Núcleo Arqueano, também conhecido como Núcleo Oiapoque, é constituído pelo Complexo Guianense, Suíte Metamórfica Ananaí-Tartarugal Grande e por rochas granitóides (LIMA et. al., 1974). O Complexo Guianense é a unidade litoestratigráfica que constitui o embasamento do Estado do Amapá (ISSLE, 1974 apud LIMA et. al., 1991), sendo representado por granodioritos, trondhjemitos e tonalitos, e também tipos gnaissificados de idêntica composição. A fim de retratar a porção mais antiga e preservada do Estado do Amapá, Lima (1984) definiu o Núcleo Oiapoque do Arqueano ao Proterozóico Inferior e que teria sido cráton quando da atuação do Cinturão Móvel Tumucumaque. Datações K-Ar reportadas por Lima et. al. (1974) e Amaral (1984) em granitóides e gnaisses da região de Oiapoque, denotam idades entre 1800-2050 Ma. A Suíte Metamórfica Ananaí-Tartarugal Grande compreende meta-quartzitos ferríferos, piriclasitos e também charnokitos (LIMA et. al., 1991; SANTOS et. al., 2006).

No entanto, estudos mais recentes (BIZZI et. al., 2003) apontam que o assim chamado Complexo Guianense não representa as rochas mais antigas da província (o “embasamento”), mas tão somente os terrenos pouco conhecidos, que ainda não estão bem caracterizados tanto litologicamente como cronologicamente. Dados isotópicos recentes, como os de Costa et. al. (2001) e de Lafon et. al. (2001), mostram que o Complexo Guianense está sendo desmembrado tanto em unidades paleoproterozóicas como arqueanas. Assim sendo, esse complexo está posicionado na coluna desde o mesoarqueano até o final do riaciano (2050 Ma).

#### 4.5.2 **Cinturões de Cisalhamento**

Os Cinturões de Cisalhamento representam o Grupo Vila Nova e o Complexo Tumucumaque que englobam um conjunto de metassedimentos, meta-máficas e ultramáficas, meta-ácidas de origem vulcânica, xistos, quartzitos e formações ferríferas (LIMA et. al., 1991; SANTOS et. al., 2006). Ainda ocorrem diques de diabásio e corpos gabróicos associados, referentes à Suíte Intrusiva Cassiporé.

#### 4.5.3 **Cobertura Plataformal**

A Cobertura Plataformal compreende as formações sedimentares que compõem a Bacia Sedimentar do Amazonas, sedimentos da Formação Barreiras e

sedimentos recentes. Na área de estudo, foram identificados por Silveira et. al. (2004) vários tipos de depósitos associados à sedimentação quaternária, descritos na sequência.

#### 4.5.3.1 Formação Barreiras

Esta unidade é constituída por sedimentos areno-argilosos, arenosos, argilo-siltosos e conglomeráticos, depositados em sistemas de leques aluviais e lacustres, podendo passar por influência marinha marcante (ROSSETTI et. al., 1989), se estendendo na região desde Uaçá até Macapá, por uma estreita faixa que se adelgaça rumo ao norte, e em toda a extensão oeste, transgride sobre rochas do Complexo Guianense. Na área de estudo, esta unidade ocorre na porção sudoeste, às margens do Lago Novo e como pequenas ilhas entre o Lago Novo e o Lago Comprido, na forma de pequenos terraços erosivos, apresentando-se como sedimentos argilosos a argilo-arenosos, tendo como característica marcante o seu aspecto mosqueado.

#### 4.5.3.2 Depósitos de planície flúvio-estuarina 1

Caracterizados por sedimentos lamosos (argila e silte), de coloração cinza amarelada, ricos em matéria orgânica e com intensa bioturbação promovida por raízes na porção mais interna, e em sua porção mais externa, às margens dos canais, verifica-se uma estratificação planoparalela, típica de ambientes influenciados por maré. Na porção noroeste da área ocorre uma sedimentação com influencia marinha, verificada também pela presença de vegetação indicativa da presença salina.

#### 4.5.3.3 Depósitos de planície flúvio-estuarina 2

Estes depósitos ocorrem às margens do rio Araguari e de outras drenagens sob a influência direta da maré e são caracterizados por sedimentos pelíticos (argila e silte) a silticos arenosos de coloração cinza amarelada, em áreas de várzeas. Estas áreas são atingidas pela maré diariamente em suas bordas e completamente durante as marés de sizígia (lançantes). Durante o período de cheia ficam completamente inundadas. Estas inundações parciais a totais conduzem todo o processo sedimentar característico desse ambiente.

#### 4.5.3.4 Depósitos de planície flúvio-estuarina e flúvio-marinha

Estes depósitos, situados ao longo da costa, desde a foz do rio Araguari até o extremo norte da área, estão associados às áreas sob influência mais direta da salinidade e são caracterizados por sedimentos pelíticos (argila e silte), nas áreas onde predomina a vegetação de manguezais, e por sedimentos siltico-arenosos a arenosos em áreas onde os processos dinâmicos são mais intensos, formando bancos, barras e planícies arenosas em áreas de acreção e assoreamento.

#### 4.5.3.5 Depósitos lacustres

Apresentam como principais os lagos Piratuba, dos Ventos, Mutuco, Comprido de Cima, Comprido de Baixo, Novo e Duas Bocas. Estes depósitos são caracterizados por sedimentação pelítica típica de lagos e por depósitos ricos em matéria orgânica, que variam de centimétricos a métricos. Exceção é feita ao Lago Duas Bocas que apresenta sedimentação argilosa avermelhada homogênea, sem estruturas e por vezes com pisólitos ferruginizados, semelhante aos sedimentos do Grupo Barreiras, sem mostrar a característica típica de sedimentação em lagos.

Os lagos do setor sudoeste (Duas Bocas, Novo, Mutuco e Comprido) têm influência direta dos rios Tartarugal Grande e Tartarugalzinho, como seus grandes provedores de água e sedimentos. Os lagos do setor norte-noroeste (Piratuba e dos Ventos) têm como principal provedor as águas pluviais, principalmente durante o inverno, mas durante o verão, em marés excepcionais, as águas costeiras salinas chegam a alcançar porções de alguns lagos neste setor.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 MATERIAIS

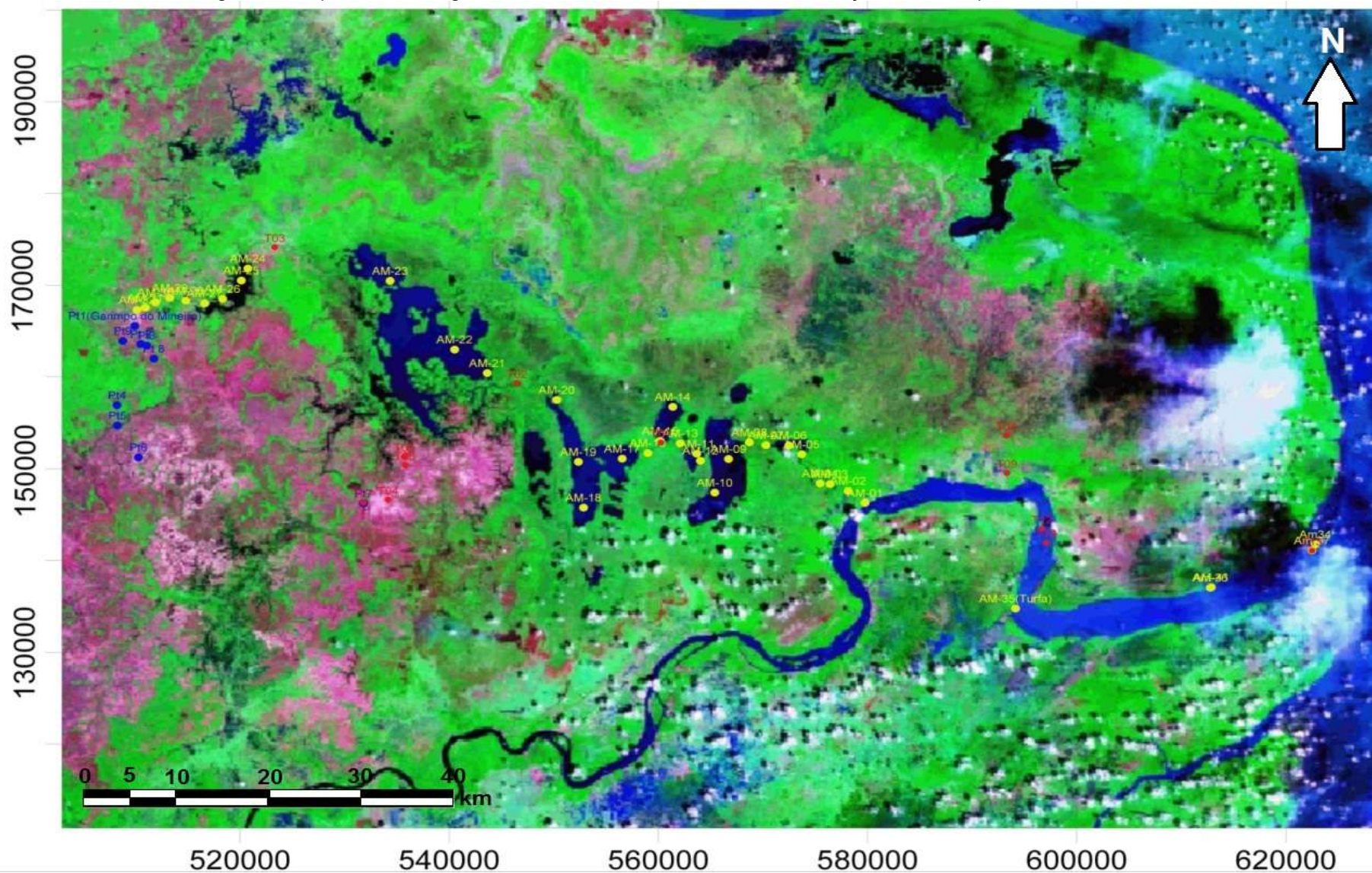
Para a realização desta pesquisa foram utilizadas amostras de sedimentos da região compreendida entre a foz do Rio Araguari e os Cinturões de Lagos Meridional e Oriental, na zona costeira Estado do Amapá previamente coletadas em uma das campanhas de campo do Projeto AMASTRAT, no ano de 2008. Foram selecionadas 73 amostras representativas da área de estudo, identificadas e agrupadas de acordo com a idade das unidades estudadas, sendo 52 amostras referentes ao Quaternário (sedimentos de fundo de rio e lago) e 21 amostras referentes ao Terciário (sedimentos intemperizados – Formação Barreiras). O agrupamento e identificação das amostras podem ser visualizados na tabela abaixo (Tabela 1), assim como a distribuição das amostras pela extensão da área de estudo pode ser observada no mapa de amostragem da Figura 5.

Tabela 1 - Identificação das amostras estudadas e o agrupamento por unidade estratigráfica.

<b>Identificação e Agrupamento das Amostras</b>				
<b>QUATERNÁRIO</b> (sedimentos de fundo – rio e lago)	AM-1	AM-14	AM-30	UR-173 CM
	AM-2	AM-15	AM-31	VB01-15 CM
	AM-3	AM-16	AM-34	T1-A
	AM-4	AM-17	AM-35	T1-B
	AM-5	AM-18	PAR-10 CM	T1-C
	AM-6	AM-19	PIR-10 CM	T2-A
	AM-7	AM-20	PIR-210 CM	T2-B
	AM-8	AM-22	PT - 41/4210-20 CM	T2-C
	AM-9	AM-23	PT - 41/42 160 CM	T10-A
	AM-10	AM-24	PT - 41/42 300 CM	T10-B
	AM-11	AM-27	SUC-6 CM	T10-C
	AM-12	AM-28	SUC-54 CM	T11-A
	AM-13	AM-29	UR-10 CM	T11-B
<b>TERCIÁRIO</b> (sedimentos intemperizados – Formação Barreiras?)	AM-26	T4-A	T7-A	P1-A
	AM-28	T4-B	T7-B	P1-B
	AM-32	T4-C	T8-A	P1-C
	T3-A	T5-A	T8-B	-
	T3-B	T5-B	T9-B	-
	T3-C	T6	T9-C	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 - Mapa de amostragem da área de estudo, ilustrando a distribuição areal dos pontos de coleta.



Fonte: Projeto AMASTRAT (2008).

Observando o mapa de amostragem (Figura 5), nota-se que os pontos de coleta estão concentrados nas seguintes porções: NW – Formação Barreiras (área em rosa); CENTRAL – Região dos Lagos; e SE – Foz do Rio Araguari. Este agrupamento das amostras será levado em consideração especificamente para a análise dos dados de minerais pesados, e para as demais análises e interpretações (granulométricas, difratométricas e geoquímicas) o agrupamento utilizado será por unidade estratigráfica, como indicado na Tabela 1.

## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.1 Análise Granulométrica

Para a realização da análise granulométrica foram pesados cerca de 50g de cada amostra, posteriormente essas amostras foram secas em estufa a 50°C, pulverizadas em grau de ágata e separadas as frações silte-argila da areia por peneiramento a úmido (peneira de 0,062 mm); a fração pelítica foi tratada com pirofosfato de sódio e o silte foi separado da argila por centrifugação a 1000 rpm. A fração mais grossa (> 0,062 mm) foi submetida a novo peneiramento, desta vez a seco, nas seguintes malhas granulométricas: 1,00; 0,500; 0,250 e 0,125 mm. Os dados da análise granulométrica foram tratados com auxílio do software SYSGRAN 2.4, adotando-se a classificação de Folk (1974). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos do Museu Paraense Emílio Goeldi.

### 5.2.2 Análises Mineralógicas

#### 5.2.2.1 Descrição Mineralógica e Textural dos Minerais Detríticos Leves

As análises relacionadas à caracterização morfológica, textural e identificação dos principais minerais leves presentes nos sedimentos estudados foram realizadas através de observação em lupa binocular no Laboratório de Microscopia Ótica do Museu Paraense Emílio Goeldi.

#### 5.2.2.2 Identificação Mineralógica por Difração de Raios-X

As análises mineralógicas foram realizadas no Laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências da UFPA, utilizando difratômetro Philips, modelo PW 3710,

com anodo de cobre ( $Cu_{k\alpha} = 1,54060 \text{ \AA}$ ) ajustado a 45 kV e 40 mA. As amostras foram identificadas por difratometria pelo método do pó, para minerais totais, e em lâminas orientadas através do método “*pipette-on-glass*” (Thorez, 1976) para a caracterização dos argilominerais, sendo preparados três tipos de lâminas: normal, etileno-glicol e sob aquecimento a 550°C por 2 horas. Os registros foram realizados no intervalo de 5° a 65°, com leituras de 2° para as amostras totais pulverizadas e no intervalo 3° a 36° para amostras de argilominerais. As identificações dos minerais foram feitas com auxílio do software APD (PHILIPS) e o Minerva, com banco de dados do ICDD – International Center for Diffraction Data. A determinação semiquantitativa dos argilominerais foi feita com base no método de Gomes (1988), onde o percentual de cada fase foi calculado pela área do pico da reflexão basal, dividido pelos respectivos poderes refletores. Os quocientes obtidos foram convertidos em percentuais relativos considerando sua soma igual a 100%.

#### 5.2.2.3 Separação e Preparação das Lâminas de Minerais Pesados

As amostras foram tratadas segundo a metodologia usual para este tipo de estudo, constando em lavagem via úmida utilizando peneira com abertura de 0.062 mm e ultrassom por aproximadamente 10 minutos, para desagregação e eliminação das frações silte e argila, finalizando esta primeira etapa com secagem em estufa a 50°C. Do resíduo seco foram retirados aproximadamente seis gramas das frações granulométricas 0,250-0,125 mm (areia fina) e 0,125-0,062mm (areia muito fina) que foram imersas em bromofórmio ( $CHBr_3$ ), visando a separação por densidade dos minerais leves e pesados. Após este processo, utilizando-se lâmina, lamínula e Bálsamo do Canadá (n=1,54), foram montadas as lâminas delgadas com os minerais pesados.

#### 5.2.2.4 Descrição Mineralógica, Textural e Quantificação dos Minerais Pesados

A fase posterior correspondeu ao exame, descrição das propriedades texturais e mineralógicas e identificação dos minerais pesados transparentes mediante luz natural e polarizada em microscópio petrográfico (*Carl Zeiss Standard 25*) no Laboratório de Microscopia Ótica do Museu Paraense Emílio Goeldi. A quantificação estatística foi feita através da contagem de aproximadamente 300 grãos e a estimativa percentual dos grãos dos diferentes minerais realizada segundo

o método *Line Counting* de Galehouse (1971). A obtenção de imagens foi realizada no Laboratório do GESED, no Instituto de Geociências da UFPA.

#### 5.2.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os grãos dos principais minerais pesados transparentes e opacos foram separados com o auxílio de uma lupa binocular, em seguida colados com fita adesiva em um suporte e, posteriormente, metalizados com ouro. As análises foram realizadas no LAB-MEV do Instituto de Geociências da UFPA, obtendo-se imagens para observação das características micromorfológicas e texturais das principais espécies minerais, como também análises químicas semiquantitativas através de um sistema de espectrometria de energia dispersiva de raios-X (EDS), para a identificação e descrição dos minerais pesados opacos.

#### 5.2.3 Análises Químicas Totais

As análises químicas totais foram realizadas em amostra total para  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , Fe total (como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ),  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e elementos-traço realizadas no laboratório Actlabs Laboratories – Ltd (Canadá), além da Perda ao Fogo ( $1000^\circ\text{C}$ ). As determinações foram feitas por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) pelo método Codes Lithogeochem Standard Package, utilizando os padrões W2 e WHG-1. A determinação dos teores de carbono orgânico (% de C) foi realizada por via úmida em amostras secas a temperatura ambiente ( $28^\circ\text{C}$ ), de acordo com Loring & Rantala (1992), para sedimentos marinhos argilosos. Trata-se de uma adaptação do método de Walkey-Black (1947) que, segundo Gaudette et. al.(1974), apresenta excelente concordância com o método de combustão LECO.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

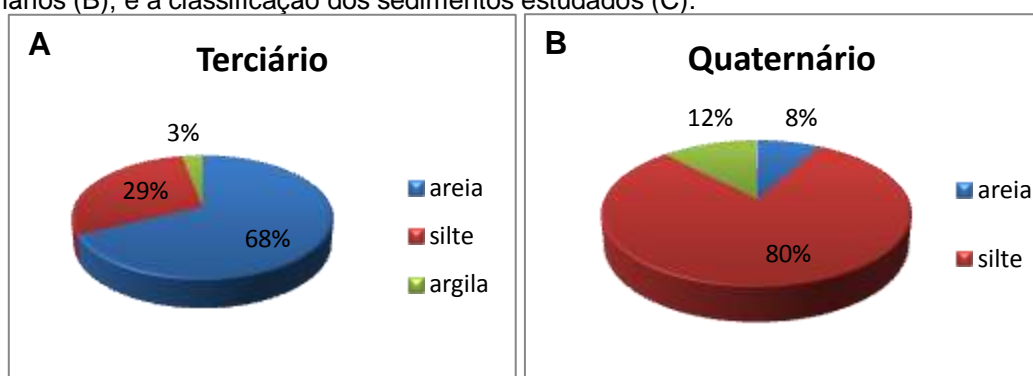
### 6.1 GRANULOMETRIA

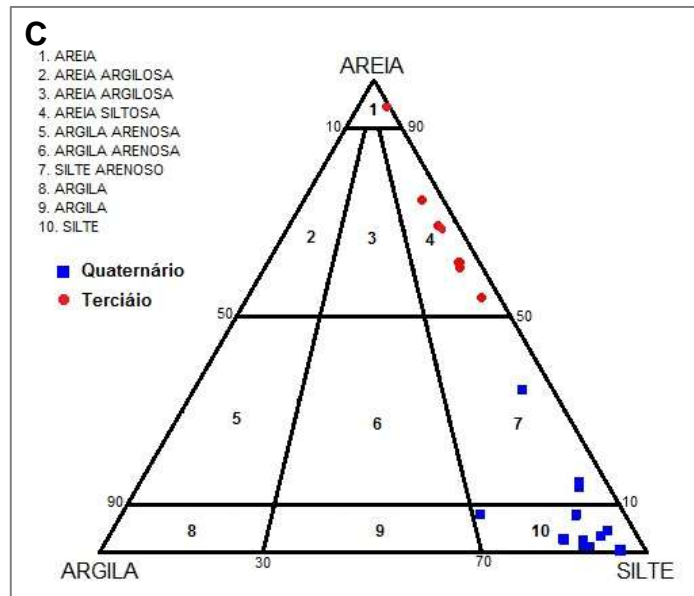
Para a análise dos dados granulométricos, as amostras foram agrupadas de acordo com as unidades estratigráficas a que pertencem, referentes às amostras de sedimentos intemperizados do Terciário e aos sedimentos de fundo de rio e lago do Quaternário, sendo, portanto, verificadas diferenças significativas em relação ao conteúdo granulométrico destas duas unidades.

Em relação aos sedimentos terciários, existe dominância das frações areia fina e muito fina, seguidas pela fração siltica e argilosa, sendo estes sedimentos classificados como areia siltosa, de acordo com a classificação de Folk (1974). No entanto, no que se referem aos sedimentos quaternários, estes são caracterizados pela dominância da fração pelítica ( $< 0,062$  mm), apresentando valor médio de 92%, com dominância da fração silte, seguida pela fração argilosa e arenosa, sendo estes sedimentos classificados como silte e silte arenoso.

Na figura abaixo (Figura 6) estão expostos os valores percentuais dos componentes granulométricos dos sedimentos terciários e quaternários na forma de gráficos, juntamente com o diagrama de classificação de Folk (1974), mostrando a distribuição granulométrica das amostras analisadas.

Figura 6 - Valores percentuais dos componentes granulométricos dos sedimentos terciários (A) e quaternários (B), e a classificação dos sedimentos estudados (C).





Fonte: Elaborado pela autora de acordo com Folk (1974).

Para o intervalo areia, de modo geral, a análise demonstrou que os grãos apresentam diâmetros predominantemente dentro do intervalo de areia fina a areia muito fina (0.250-0.062 mm) e seleção boa, evidenciando homogeneidade nestes sedimentos. Na região dos lagos ocorrem 8% de areia, enquanto que na região a NW esse valor se eleva para 68%, em demonstração de que os volumes de silte + argila são complementares ao das areias, portanto as tendências serão exatamente inversas. O conteúdo médio da fração pelítica para os sedimentos terciários e quaternários é da ordem de 32% e 92%, respectivamente.

A razão clástica (areia/silte+argila) é utilizada como indicador da energia do ambiente de deposição. Os valores menores (0-0,52) estão relacionados aos sedimentos quaternários, referentes principalmente à região dos lagos. Os sedimentos terciários mostram valores maiores de razão clástica (1,6-16,95), com média de 3,8, e, portanto, indica maior energia no ambiente deposicional, referente à região NW da área de estudo.

A tabela a seguir (Tabela 2) ilustra os valores percentuais da distribuição granulométrica das amostras analisadas, bem como os valores da razão clástica para cada amostra, tomando como referência a escala granulométrica de Wentworth (1922).

Tabela 2 -Valores percentuais da distribuição granulométrica e razão clástica das amostras analisadas. Intervalos das frações granulométricas: areia grossa – 2-0,5mm; areia média – 0,5-0,250mm; areia fina – 0,250-0,125mm; areia muito fina – 0,125-0,062mm; silte – 0,062mm-4 $\mu$ ; argila – < 4 $\mu$ .

AMOSTRAS		AREIA GROSSA	AREIA MÉDIA	AREIA FINA	AREIA MUITO FINA	SILTE	ARGILA	RAZÃO CLÁSTICA
<b>QUATERNÁRIO</b> (sedimentos de fundo de rio e lago)	AM-1	0,26	3,76	13,6	16,82	60,3	5,26	0,52
	AM-2	-	-	-	0,36	92,32	7,32	0
	AM-3	-	-	0,44	2,9	87,3	9,36	0,03
	AM-4	-	-	0,81	3,64	87,9	7,65	0,05
	AM-5	-	-	-	7,87	62,82	29,31	0,09
	AM-9	-	-	0,16	0,72	85,3	13,82	0,01
	AM-10	0,04	0,27	0,48	1,88	80,92	16,41	0,03
	AM-11	0,02	0,76	3,93	9,15	78,08	8,06	0,16
	AM-14	-	-	0,9	1,7	85,16	12,24	0,03
	AM-17	-	-	-	0,94	89,48	9,58	0,01
	AM-19	-	-	1,7	1,06	80,7	16,54	0,03
	T1	-	0,2	2,6	5,03	80,45	11,72	0,08
T2	-	0,31	3,18	11,34	77,58	7,59	0,17	
<b>TERCIÁRIO</b> (sedimentos intemperizados)	AM-26	-	1,58	3,1	64,52	27,31	3,49	2,25
	AM-28	0,12	2,14	12,9	59,34	21,6	3,9	2,93
	AM-32	0,1	2,5	2,06	63,8	28,59	2,95	2,17
	T3	-	0,02	2,84	58,67	34,85	3,62	1,6
	T4	0,03	2,8	17,07	34,0	43,0	3,1	1,17
	T5	0,02	0,1	9,73	84,58	5,35	0,22	16,95
	T6	0,16	2,14	16,06	42,0	35,66	3,98	1,52
	T7	0,1	0,42	3,68	57,3	35,1	3,4	1,6

Fonte: Elaborado pela autora, de acordo com Wentworth (1922).

## 6.2 MINERALOGIA

Levando em consideração os objetivos deste estudo e com o intuito de facilitar o entendimento e interpretação dos dados, a análise mineralógica dos sedimentos da área de estudo foi dividida em três etapas: análise dos minerais detríticos leves, análise dos argilominerais e análise dos minerais pesados. A abundância, tamanho e forma como esses diferentes grupos minerais ocorrem nos sedimentos da costa amapaense (para o caso em questão) associam-se à qualidade, tipo ou característica da rocha-fonte, transporte, erosão e alterações intempéricas, fornecendo respostas específicas para cada situação.

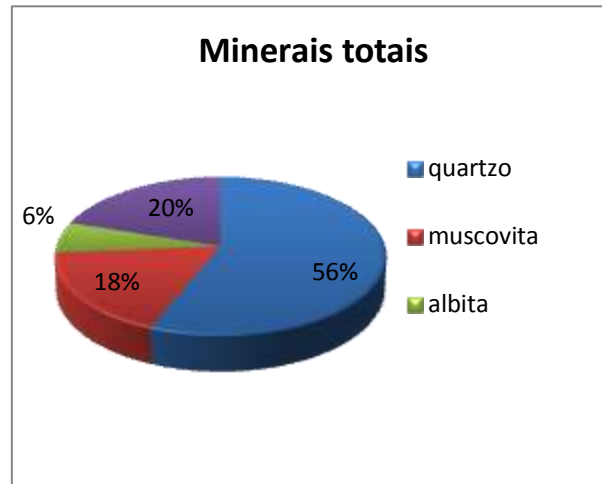
### 6.2.1 Minerais Detríticos Leves

#### 6.2.1.1 Quantificação dos minerais leves

As análises difratométricas para amostras totais, de maneira geral, demonstraram que os sedimentos estudados são mineralogicamente compostos por quartzo, muscovita, albita, K-feldspatos (traços) e argilominerais, além de óxidos e hidróxidos de ferro e minerais opacos, também relatados por Gibbs (1977),

Patchineelam (1993), Mendes (1994), Costa (1996) e Santos (2007). Na figura abaixo (Figura 7) estão expostos os valores percentuais dos componentes mineralógicos na forma de gráfico.

Figura 7 - Valores percentuais dos componentes mineralógicos dos sedimentos estudados.



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 6.2.1.2 Descrição dos minerais leves

##### **Quartzo**

Este é o mineral predominante nos sedimentos estudados, sendo encontrado em praticamente todas as frações granulométricas, especialmente nas frações areia e silte, e inclusive naquelas inferiores a 0,062mm. Os grãos de quartzo observados na fração areia, por lupa binocular, são predominantemente angulosos a subangulosos, alguns subarredondados a arredondados, apresentando brilho vítreo a leitoso e fraturas conchoidais. Alguns grãos são cobertos por películas de óxidos de ferro e/ou argila.

##### **Feldspatos**

Estes minerais ocorrem em quantidades reduzidas nos sedimentos e são representados quase que exclusivamente por albita. O K-feldspato foi identificado esporadicamente, com picos de baixa intensidade através da reflexão de 3,2Å (Figura 8). Aparecem geralmente como grãos subangulosos a subarredondados

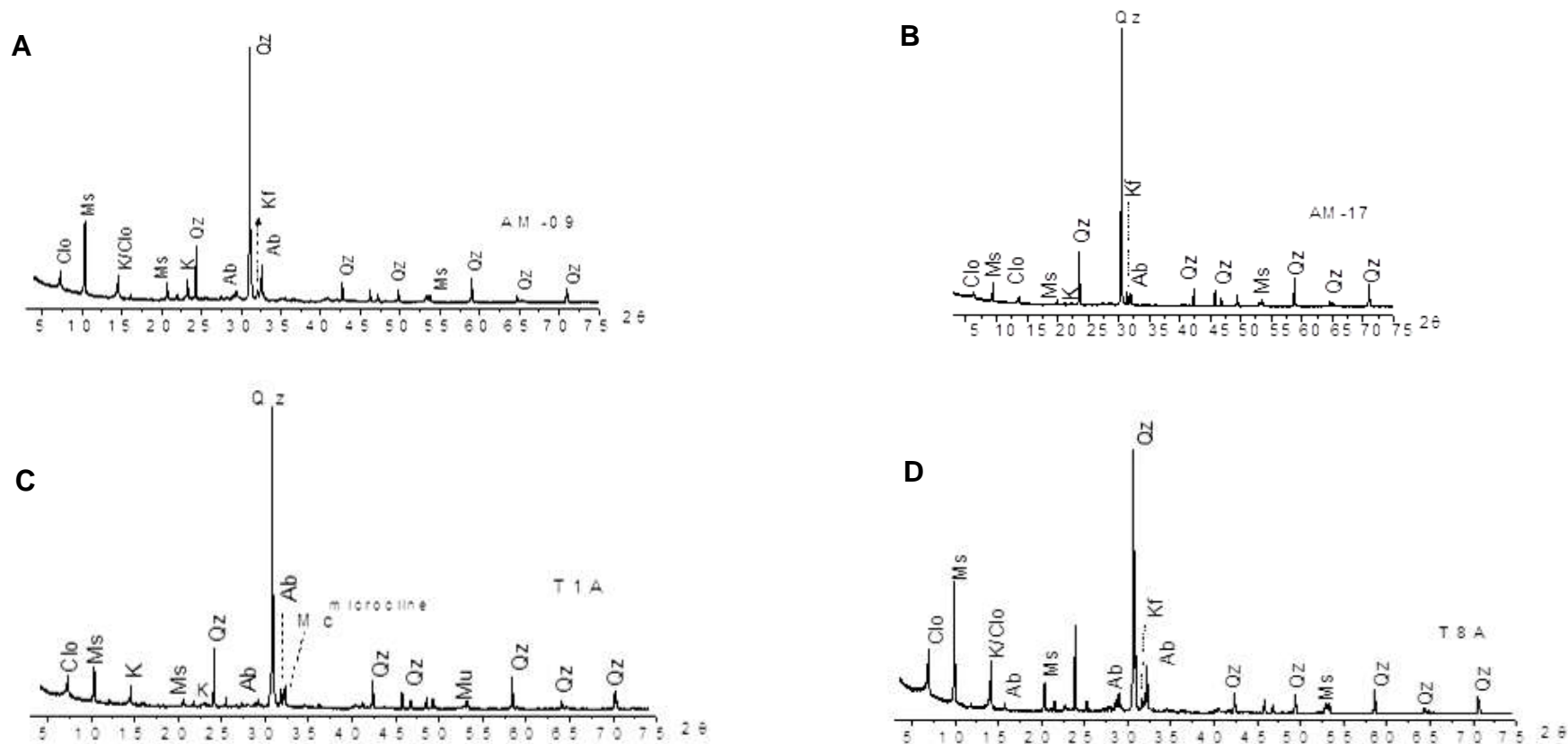
e/ou desgastados, fato este que, segundo Mendes (1994), evidencia o caráter clástico desses minerais.

### **Muscovita**

A muscovita é um mineral relativamente frequente nos sedimentos da costa do Amapá. Mostra-se sob a forma de grãos subangulosos a angulosos, de hábito placoso e por vezes apresentando inclusões de minerais aciculares (possivelmente rutilo). Além da muscovita, ainda é possível identificar nos difratogramas a ocorrência de clorita, em quantidades traço. Este mineral foi encontrado com frequência nas lâminas de minerais pesados, assim como também a clorita, especialmente nas amostras referentes à região da foz do rio Araguari.

Embora alguns grãos micáceos afundem no bromofórmio, estes não são considerados no estudo de minerais pesados, devido ao comportamento das micas durante o transporte e a deposição ser totalmente diferente daquele de outros minerais pesados. A sua presença nas lâminas explica-se pelo fato do hábito placoso aumentar o potencial hidráulico destes minerais, causando flutuações no bromofórmio (MORTON, 1984).

Figura 8 - Difratomogramas de Raios-X para amostra total dos sedimentos quaternários (A e B) e terciários (C e D), destacando a composição mineralógica principal. Qz – quartzo; K/Clo – caulinita/clorita; Ms – muscovita; K – caulinita; Ab – albita; Clo – clorita.



Fonte: Elaborado pela autora.

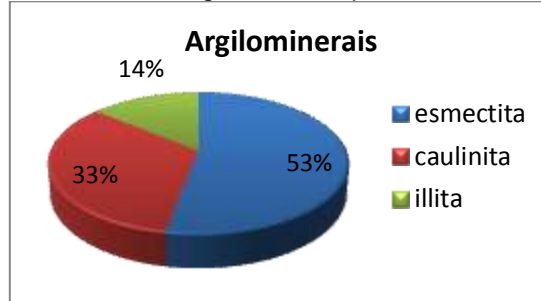
## 6.2.2 Argilominerais

Para a identificação e quantificação dos argilominerais, cuidados especiais tiveram de ser adotados, pois, frequentemente ocorreu superposição de reflexões de minerais diferentes, como no caso dos picos de caulinita e clorita. Além disso, algumas reflexões pertencentes a minerais degradados (baixo grau de cristalinidade) dificultaram a identificação de determinados minerais.

### 6.2.2.1 Quantificação dos argilominerais

As análises difratométricas das amostras revelaram que nos sedimentos estudados a assembleia mineralógica da fração argila é composta predominantemente por esmectita, caulinita e illita, além de clorita em quantidades traço. Reflexões de minerais não argilosos também foram reconhecidas nos difratogramas, tratando-se essencialmente de quartzo e feldspatos. Os valores percentuais dos argilominerais estão expostos no gráfico da Figura 9, a seguir.

Figura 9 - Valores percentuais dos argilominerais presentes nos sedimentos estudados.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.2.2.2 Descrição dos argilominerais

#### Esmectita

Nos difratogramas, a esmectita é caracterizada por picos largos e de aparência difusa, sendo a sua reflexão basal (001) correspondente ao pico de maior intensidade. A presença de picos largos sugere a ocorrência de interestratificados S-Cl (esmectita-clorita). Em relação ao grau de cristalinidade, a esmectita apresenta razões V/P (vale/altura do pico) próximas de 1,0, apontando ocorrência de esmectitas bem cristalizadas. É válido ressaltar que as análises difratométricas em amostras OR, GL e AQ (550°/2h) não são suficientes para a identificação das espécies de esmectita.

### **Caulinita**

A determinação da caulinita se deu a partir das reflexões em  $7\text{\AA}$  (001),  $3,57\text{\AA}$  (002) e  $2,37\text{\AA}$  (003), as quais são estáveis ao tratamento com etilenoglicol, porém desaparecem após aquecimento a  $550^{\circ}\text{C}/2\text{h}$ , devido à saída da hidroxila da estrutura cristalina do mineral. O grau de cristalinidade da caulinita é baixo, apresentando valores médios da razão V/P, próximos de 0,5.

### **Clorita**

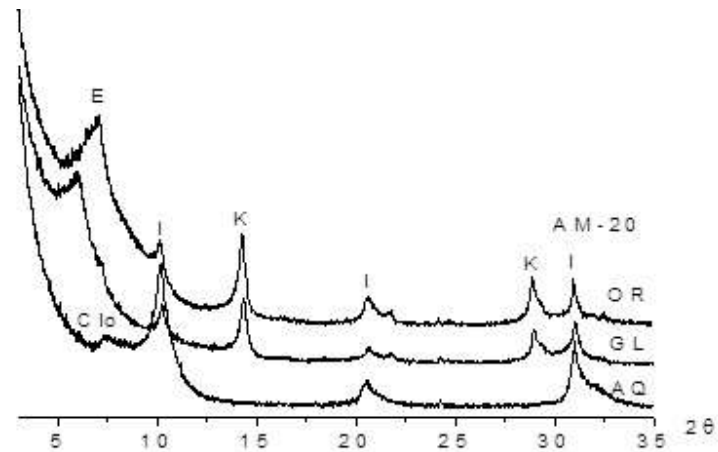
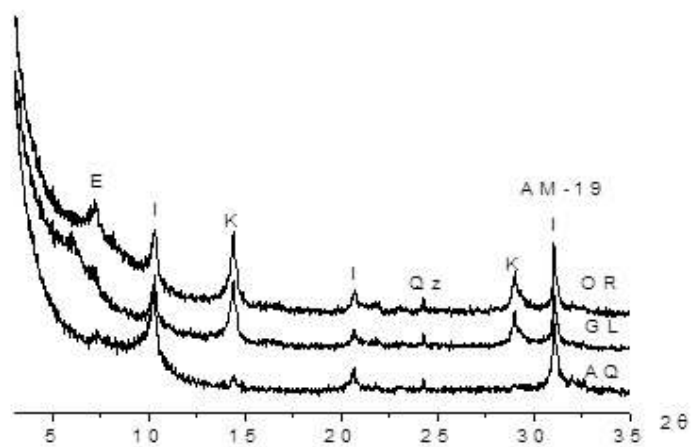
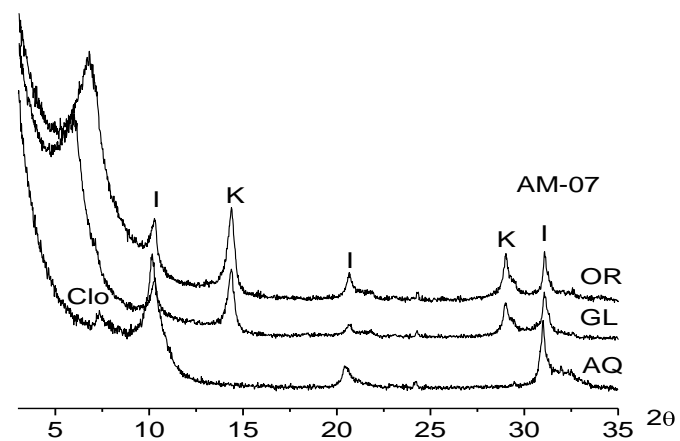
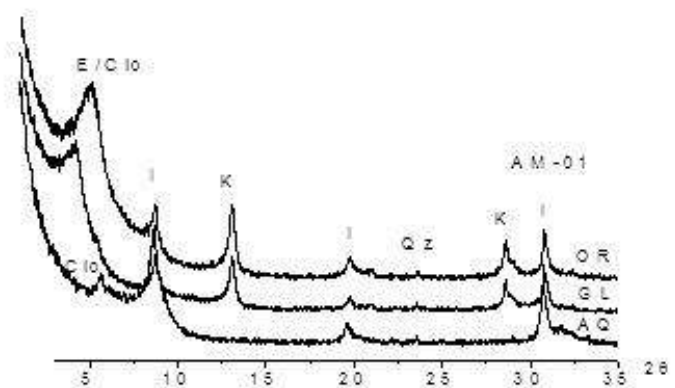
As reflexões da clorita são muito semelhantes às da caulinita, sendo também estáveis sob glicolação, no entanto, após aquecimento, a intensidade da reflexão (001) aumenta e sua posição é deslocada para valores inferiores aos originais da amostra orientada (Figura 10).

### **Illita**

As definições das reflexões basais em  $10\text{\AA}$  (001),  $5\text{\AA}$  (002) e  $3,33\text{\AA}$  (003) foram o critério utilizado para a identificação da illita nos difratogramas. Quando submetidas a tratamento com etilenoglicol, essas reflexões tornam-se levemente mais agudas e características, o mesmo acontecendo após aquecimento. A maioria dos picos de illita é assimétrica, sendo este comportamento típico de illita com caráter degradado.

A distribuição dos argilominerais pode ser considerada uniforme, variando apenas o conteúdo destes em relação aos minerais totais nas amostras do Terciário e Quaternário, estas últimas sendo mais enriquecidas na fração argila e, por conseguinte, nos argilominerais também. Assembleias similares foram encontradas nos sedimentos de fundo do Rio Amazonas (GIBBS, 1977), na própria costa do Amapá (MENDES, 1994) e nos Canais Norte e Sul do Rio Amazonas (TORRES, 1997). Isto indica que os sedimentos argilosos da zona costeira do Estado do Amapá são predominantemente detríticos continentais, oriundos de processos de alteração de diferentes tipos de rochas pré-cambrianas e fanerozóicas que são drenadas pela bacia hidrográfica do Rio Amazonas (BISCAYE, 1965 *apud* MENDES, 1994).

Figura 10 - Difratogramas de raios-X para a fração argila, ilustrando os picos dos principais constituintes mineralógicos, em amostra orientada (OR), glicolada (GL) e aquecida (AQ) a 550°C/2h. E/Clo – esmectita/clorita; I – illita; K – caulinita; Qz – quartzo.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.2.3 Minerais Pesados

Os minerais pesados estudados neste trabalho foram concentrados nas frações areia fina (0.250-0.125 mm) e areia muito fina (0.125-0.062 mm), variando de 0,1-2,0% nas amostras coletadas. No entanto, observou-se que a melhor distribuição desses minerais encontra-se na fração areia muito fina, por isso o estudo foi condicionado especificamente para essa fração.

A análise microscópica das lâminas indicou a ocorrência de uma assembleia composta por 13 espécies de minerais pesados transparentes, sendo estes representados principalmente por epidoto, zircão, hornblenda, turmalina, hiperstênio e diopsídio, estes com ampla distribuição por todas as amostras; e rutilo, estauroлита, granada, cianita, silimanita, andaluzita e apatita, aparecendo de forma mais restrita. Em relação aos minerais pesados opacos, estes são representados principalmente por ilmenita, anatásio e magnetita. Devido a dificuldades para a determinação das propriedades óticas, outras espécies de minerais pesados não puderam ser identificadas com segurança, tratando-se possivelmente de barita e enstatita. Estes minerais ocorrem em proporções muito reduzidas (< 0,5%), não gerando, portanto, maiores consequências para a análise quantitativa.

Como dito anteriormente, para a análise dos dados de minerais pesados, as amostras foram separadas de acordo com a sua localização dentro da área de estudo (Figura 4), sendo agrupadas em três regiões distintas: Foz do Rio Araguari (porção sudeste), Região dos Lagos (central) e Sedimentos Barreiras (na porção sudoeste). Este agrupamento se deu pelo fato de que tratam-se de regiões com características ambientais diferentes uma da outra, principalmente no que se refere à dinâmica do ambiente deposicional (influência de marés e do Rio Amazonas).

Para a classificação dos minerais pesados de acordo com o grau de estabilidade, será levado em consideração o modelo proposto por Pettijohn *et. al.* (1973), segundo o qual os minerais pesados são divididos desde muito instáveis até ultraestáveis de acordo com suas estabilidades químicas frente às condições intempéricas (Tabela 3). A estabilidade química de uma determinada espécie mineral é um assunto polêmico dentre diversos autores, pois as variações nesta ordem de estabilidade dependem diretamente das características físico-químicas de cada ambiente e não somente da espécie mineral em questão.

Tabela 3 - Estabilidades químicas relativas de alguns dos minerais pesados mais comuns (crescente do topo para a base), durante os processos de intemperismo.

<b>ESTABILIDADE</b>	<b>MINERAIS</b>
<b>Muito instável</b>	Olivina
<b>Instáveis</b>	Hornblenda Diopsídio Hiperstênio Andaluzita
<b>Moderadamente estáveis</b>	Epidoto Cianita Granada (rica em Fe) Silimanita
<b>Estáveis</b>	Apatita Granada (pobre em Fe) Estauroлита
<b>Ultraestáveis</b>	Rutilo Zircão Turmalina Anatásio

Fonte: Modificado de Pettijohn et. al. (1973).

#### 6.2.3.1 Quantificação dos minerais pesados

As Tabelas 4 e 5 apresentam os índices percentuais de ocorrência de cada mineral das assembleias obtidas na fração grossa (0,250-0,125 mm) e fração fina (0,125-0,062 mm), respectivamente. Com base nessas tabelas, verifica-se que epidoto, turmalina, estauroлита, zircão, silimanita e andaluzita são os minerais mais abundantes na fração grossa, enquanto que, para a fração fina, as espécies minerais que aparecem como mais abundantes são epidoto, zircão, hornblenda, turmalina e hiperstênio.

Tabela 4 - Percentuais de ocorrência dos principais minerais pesados transparentes identificados na área de estudo, referentes à fração grossa (0,250-0,125 mm). Ep (epidoto); Tur (turmalina); Est (estauroлита); Zr (zircão); Sil (silimanita); And (andaluzita); Hnb (hornblenda); Gr (granada); Cia (cianita); Rt (rutilo); - (ausente).

<b>AMOSTRAS</b>		<b>Ep</b>	<b>Tur</b>	<b>Est</b>	<b>Zr</b>	<b>Sil</b>	<b>And</b>	<b>Hnb</b>	<b>Gr</b>	<b>Cia</b>	<b>Rt</b>
<b>Barreiras</b>	Am-26	39	32	5	5	10	5	2	-	-	2
	Am-32	39	39	8	1	5	3	3	-	2	-
	T7	37	23	10	5	7	9	2	-	6	1
<b>Lagos</b>	Am-14,16	35	27	11	7	5	9	-	4	2	-
	Am-17	24	9	19	22	6	3	3	8	-	6
	T2	35	17	4	4	13	17	-	9	-	1
<b>Foz</b>	Am-1,2,3,4	41	24	10	7	7	1	9	-	1	-
<b>MÉDIA</b>		<b>36</b>	<b>24</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5 - Percentuais de ocorrência dos principais minerais pesados transparentes identificados na área de estudo, referentes à fração fina (0,125-0,062 mm). Ep (epidoto); Zr (zircão); Hnb (hornblenda); Tur (turmalina); Hp (hiperstênio); Dp (diopsídio); Est (estauroлита); Rt (rutilo); Gr (granada); Cia (cianita); Sil (silimanita); And (andaluzita); Ap (apatita); - (ausente).

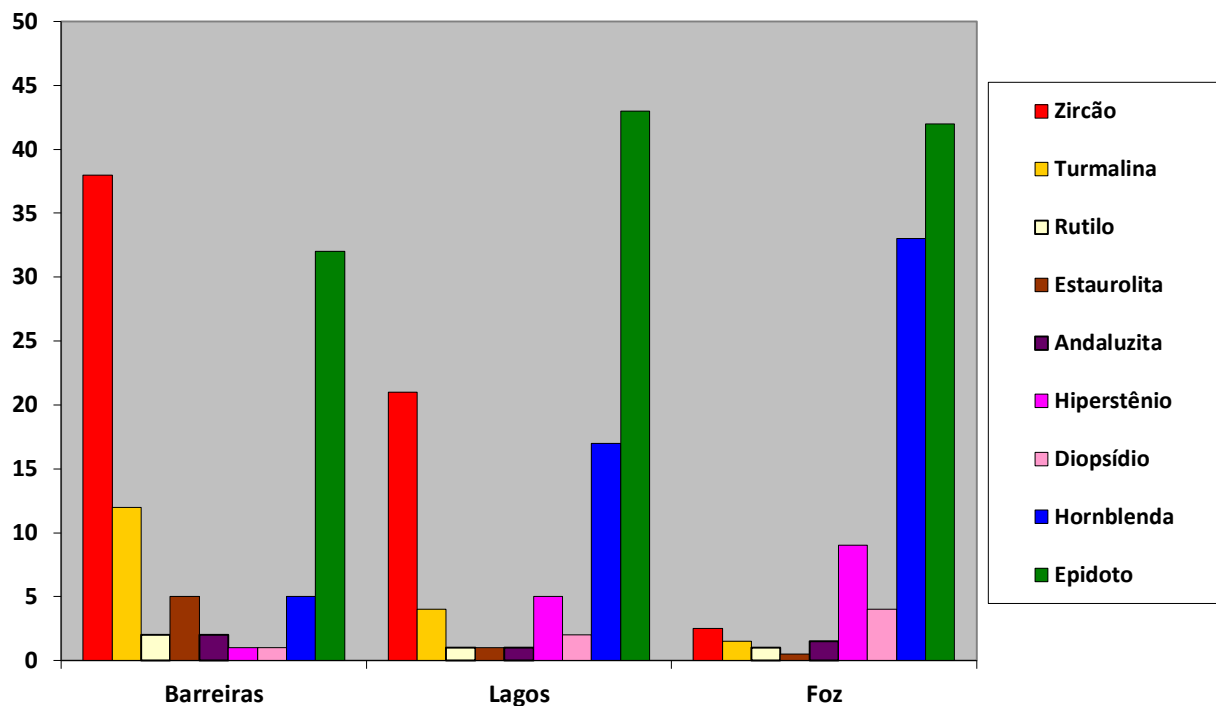
AMOSTRAS		Ep	Zr	Hnb	Tur	Hp	Dp	Est	Rt	Gr	Cia	Sil	And
Barreiras	Am-26	29	23	12	15	-	-	5	4	1	3	4	1
	Am-32	19	64	-	9	-	3	2	1	-	1	-	1
	T3	25	43	3	17	-	2	-	2	-	-	2	6
	T5	51	22	6	9	5	-	6	1	-	-	-	-
	T6	36	29	4	12	1	1	8	3	-	1	1	1
	T7	31	44	2	7	3	-	8	3	-	-	1	1
Lagos	Am-05	43	11	27	1	12	-	-	-	1	-	4	-
	Am-07	49	12	20	2	6	-	-	-	5	2	4	-
	Am8,9,10	37	11	29	8	3	-	3	3	3	3	-	-
	Am-13	52	10	18	2	8	1	1	1	3	2	-	1
	Am14,16	25	55	7	2	-	2	-	5	3	-	-	-
	Am-15	43	23	17	3	8	2	-	-	2	1	2	-
	Am-17	25	53	3	5	5	1	3	1	3	-	-	1
	Am19, 20	64	6	6	6	1	12	-	-	-	-	-	5
	Am-22	41	17	19	3	3	3	-	-	8	-	3	3
	T1	58	2	25	1	5	3	1	1	-	-	3	-
T2	48	26	11	10	2	-	1	2	-	-	-	-	
Foz	Am1,2,3,4	39	3	33	1	10	3	1	-	4	-	4	1
	T10	45	2	33	2	7	4	-	2	-	1	2	2
<b>MÉDIA</b>		<b>40</b>	<b>24</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

A distribuição das principais espécies minerais pela extensão da área de estudo está ilustrada no gráfico da Figura 11. Em análise ao gráfico é possível observar que os sedimentos da Formação Barreiras mostram uma maior concentração de minerais pesados ultraestáveis e moderadamente estáveis, com o zircão (37%) aparecendo como mineral predominante, logo depois ocorre epidoto (32%) e turmalina (12%), também em proporções consideráveis; e estauroлита (5%), hornblenda (5%), rutilo (2%), andaluzita (2%), hiperstênio (1%) e diopsídio (1%) mostrando ocorrência bem mais restrita. Na região dos lagos, porém, existe certo equilíbrio entre minerais instáveis e estáveis, com epidoto (43%), zircão (21%) e hornblenda (17%) aparecendo como mais frequentes, sendo seguidos por hiperstênio (5%) e turmalina (4%); em proporções reduzidas aparecem diopsídio (2%), rutilo (1%), estauroлита (1%) e andaluzita (1%). No entanto, nos sedimentos referentes à região da foz do Rio Araguari existe uma maior concentração de minerais pesados instáveis, pois epidoto (42%), hornblenda (33%) e hiperstênio (9%) aparecem como mais abundantes, sendo seguidos pelo diopsídio (4%); as porcentagens dos minerais pesados ultraestáveis zircão (2%), turmalina (1%) e rutilo (1%) são muito baixas, assim como as proporções de estauroлита (0,5%). Observa-se ainda que o epidoto é o único mineral que se apresenta de modo relativamente

constante em todas as amostras analisadas, ocorrendo um ligeiro aumento na sua concentração em direção a região da foz do rio Araguari. As concentrações dos minerais ultraestáveis (zircão, turmalina e rutilo) e instáveis (hornblenda, hiperstênio e diopsídio) mostram comportamento inversamente proporcional, ou seja, existe uma considerável diminuição na concentração dos minerais ultraestáveis em direção à foz do rio Araguari ao mesmo passo que aumenta (em relativa proporção) a concentração dos minerais instáveis.

Figura 11 - Distribuição dos principais minerais pesados não opacos por toda a extensão da área de estudo, referentes à Formação Barreiras, região dos Lagos e foz do rio Araguari (valores em porcentagem).



Fonte: Elaborado pela autora.

Esta distribuição preferencial dos minerais pesados instáveis e estáveis pode ser mais bem visualizada através do índice ZTR, exposto na Tabela 6. Inicialmente proposto por Hubert (1971) (apud BARCELOS; SUGUIU, 1981) para definir o grau de maturidade de sedimentos e de rochas sedimentares, este índice é expresso em porcentagem relativa, correspondente à soma das frequências numéricas de zircão (Z), turmalina (T) e rutilo (R), os quais são considerados minerais de alta estabilidade. Os valores de referências são: 0-10%, sedimentos com superabundância de minerais instáveis; 10-40%, abundância de minerais instáveis;

40-60%, igualdade de minerais instáveis e estáveis; 60-90%; abundância de minerais estáveis.

Tabela 6 - Índice ZTR dos sedimentos estudados, mostrando uma diminuição no percentual em direção à foz do rio Araguari, muito mais evidente na fração fina (0,125-0,062mm) do que na fração grossa (0,250-0,125mm). Valores em porcentagem relativa.

	ZTR – fração grossa	ZTR – fração fina
<b>Formação Barreiras</b>	36	51
<b>Região dos Lagos</b>	31	26
<b>Foz do Rio Araguari</b>	31	5
<b>MÉDIA</b>	<b>31</b>	<b>27</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando-se os dados contidos na tabela, percebe-se que o índice de maturidade dos sedimentos da Formação Barreiras indica igualdade de minerais instáveis e estáveis; em relação aos sedimentos da região dos lagos, estes apresentam índice de maturidade que indica abundância de minerais instáveis; já o índice de maturidade dos sedimentos relacionados à foz do rio Araguari indica superabundância de minerais pesados instáveis. A média dos índices de maturidade para as três regiões consideradas, em ambas as frações, fica abaixo de 40%, indicando que há abundância de minerais instáveis nos sedimentos estudados. Este dado, juntamente com a análise do conteúdo mineralógico, permite classificar estes sedimentos como mineralogicamente imaturos.

Percebe-se ainda que, para a fração fina, o índice ZTR diminui consideravelmente em direção à foz do rio Araguari (5%), indicando superabundância de minerais instáveis nesta região. Para a fração grossa, o índice ZTR se mantém relativamente constante por toda a extensão da área de estudo.

Com relação aos minerais pesados opacos, as proporções referentes às quantidades destes em comparação com as quantidades dos minerais pesados transparentes, estão expostas na Tabela 7, bem como a quantidade de grãos contados para cada amostra. Percebe-se que existe uma maior concentração de opacos nos sedimentos da Formação Barreiras e na região dos lagos, onde encontram-se as maiores proporções destes, com valores que atingem até 95% (amostra Am-19,20) do total dos grãos. No entanto, na região da foz do rio Araguari esta proporção é bastante reduzida, não atingindo um quarto do total dos grãos.

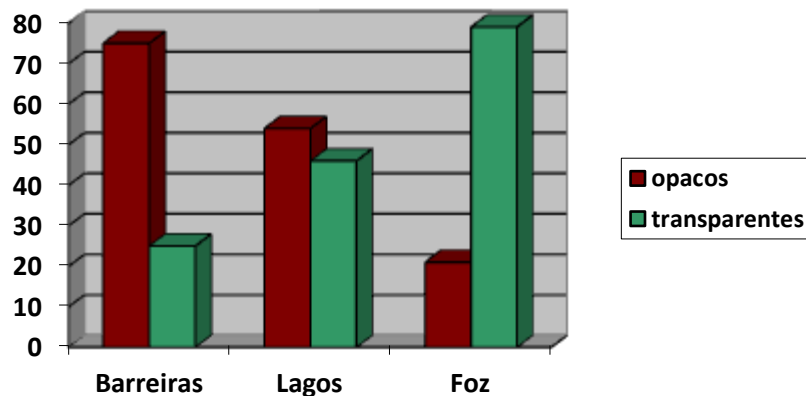
Tabela 7 - Relação de proporção entre minerais pesados opacos e não opacos (valores em percentagem) e o total de grãos contados para cada amostra.

AMOSTRAS		OPACOS	TRANSPARENTES	TOTAL DE GRÃOS
<b>Sedimentos Barreiras</b>	Am-26	71	29	386
	Am-32	79	21	420
	T3	82	18	348
	T5	77	23	347
	T6	68	32	328
	T7	73	27	321
	<b>Região dos Lagos</b>	Am-5	49	51
Am-7		31	69	334
Am-8,9,10		58	42	316
Am-13		32	68	341
Am-14,16		72	28	353
Am-15		45	55	383
Am-17		70	30	350
Am-19,20		95	5	363
Am-22		34	66	352
T1		39	61	338
T2		69	31	398
<b>Foz do Rio Araguari</b>		Am-1,2,3,4	23	77
	T10	19	81	228

Fonte: Elaborado pela autora.

Esta distribuição preferencial das proporções relativas dos minerais pesados transparentes e opacos fica mais evidente quando expressa na forma de gráfico (Figura 12). Em análise ao gráfico é possível notar que para os sedimentos da Formação Barreiras os minerais opacos constituem 75% do total dos grãos e os minerais transparentes constituem 25% destes; nos sedimentos da região dos lagos essa distribuição é relativamente equilibrada; no caso dos sedimentos da foz do rio Araguari, os minerais pesados transparentes predominam nos sedimentos, com valor médio de 79%, enquanto que os minerais opacos perfazem apenas 21% do total dos grãos.

Figura 12 - Gráfico com a distribuição das proporções relativas dos minerais pesados opacos e transparentes (valores em percentagem).



Fonte: Elaborado pela autora.

Novamente, esta maior concentração dos minerais opacos nos sedimentos da Formação Barreiras e na região dos lagos, ambos a montante do rio Araguari, se explica devido ao fato dos minerais opacos serem minerais com potencial hidráulico baixo, sendo compatíveis com os minerais pesados ultraestáveis anteriormente citados (zircão, turmalina e rutilo), tidos como minerais com baixo grau de mobilidade.

As variações nas proporções relativas dos minerais pesados demonstradas no presente item podem ser atribuídas a problemas amostrais, já que, para a região da foz do rio Araguari apenas duas amostras apresentaram resultados satisfatórios, ou seja, possuíam concentração significativa de minerais pesados, e puderam ser utilizadas no presente estudo. Do mesmo modo, para a região dos lagos foram utilizadas 11 amostras, e para os sedimentos da Formação Barreiras, utilizou-se 6 amostras. Do total de 19 amostras utilizadas para o estudo dos minerais pesados, apenas 7 amostras possibilitam a análise da fração grossa (0,250-0,125mm), sendo 3 amostras da Formação Barreiras, 3 amostras da região dos lagos e apenas uma amostra para a região da foz do rio Araguari, o que explica o fato do estudo ter sido direcionado especificamente para a fração fina (0,125-0,062mm).

Outra explicação para a relativa desigualdade nos teores dos minerais nas regiões estudadas pode ser a influência de parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos sobre os minerais pesados durante o transporte e deposição, como citado anteriormente. A variação na concentração de certas espécies de minerais pesados é dependente de processos hidráulicos que relacionam as características físicas das correntes (velocidade e viscosidade do fluxo) com as propriedades físicas dos materiais transportados (diâmetro e densidade), desse modo, alguns minerais podem concentrar-se em maior quantidade em uma unidade do que em outra.

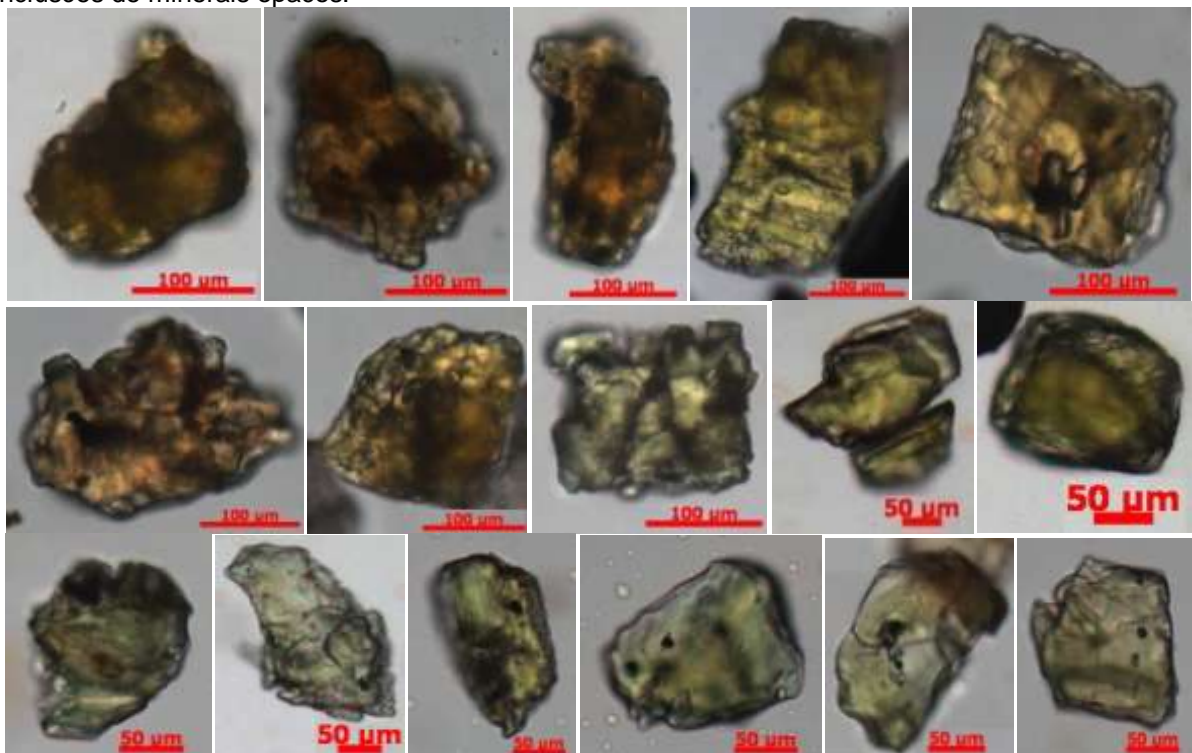
#### 6.2.3.2 Descrição dos minerais pesados

Os minerais pesados identificados na área de estudo apresentam características morfológicas e texturais semelhantes, salvo pequenas alterações de cunho irrelevante, e por isso, não puderam ser separados por microscopia ótica para cada região (Formação Barreiras, região dos lagos e foz do rio Araguari). Segue abaixo a descrição mineralógica comum para as três regiões da área de estudo.

### Epidoto – $\text{CaFeAl}_2\text{O} \cdot \text{OH}(\text{Si}_2\text{O}_7)[\text{SiO}_4]$

O epidoto é o mineral mais comum e abundante nos sedimentos estudados, tanto na fração fina (40%) quanto na fração grossa (36%), ocorrendo em 100% das amostras. Apresenta-se normalmente como grãos angulosos e subangulosos, irregulares, por vezes grãos alongados, e, mais raramente, grãos prismáticos e grãos subarredondados (Figura 13). Predominam os grãos de coloração verde amarelada e/ou verde pálido. Muitos grãos mostram alterações superficiais provocadas por dissolução, o que confere aos mesmos um aspecto corroído. Outra feição comum são inclusões de minerais opacos.

Figura 13 - Microfotografias, sob luz natural, dos grãos de epidoto, mostrando grãos de coloração verde amarelada, preferencialmente irregulares, alguns com aspecto corroído, outros mostram inclusões de minerais opacos.



Fonte: Elaborado pela autora.

De modo geral, os grãos de epidoto presentes nos sedimentos da Formação Barreiras, região dos lagos e foz do rio Araguari apresentam características morfológicas e texturais semelhantes, não sendo observadas variações significativas. Ambas as regiões possuem grãos afetados por dissolução química, o que sugere que estes sedimentos estejam passando por interações com ácidos

orgânicos (BERRÊDO, 2006) e com isso, potencializando estas feições nos minerais mais susceptíveis a estes ataques, como é o caso do epidoto.

De origem tipicamente metamórfica e/ou hidrotermal, pode também ser formado a partir da alteração de plagioclásios ou, ainda, pela alteração de granadas, piroxênios, anfibólios e outros silicatos cálcicos ou ferrosos (PARFENOFF et. al., 1970 *apud* MENDES, 1994). Em rochas ígneas o epidoto é comum nos tipos de composição básica, mas também pode ocorrer em granitos. Processos hidrotermais podem formar epidoto em cavidades, veios e vesículas de rochas vulcânicas.

### **Zircão – $ZrSiO_4$**

O zircão é muito frequente e abundante (2-64%) na maioria das amostras, principalmente na fração fina dos sedimentos, exibindo diferentes formas e cores. Em geral, nas três regiões, o zircão apresenta-se preferencialmente como grãos prismáticos alongados e curtos, de hábito bipiramidal, subédricos a euédricos, e mais raramente como grãos subarredondados ou arredondados, além de fragmentos angulosos a subangulosos (Figura 14). Cerca de 50% dos grãos de zircão são incolores, seguidos pelos marrons (40%) e rosados (10%). São habituais, inclusões fluidas, inclusões de minerais (rutilo e opacos) e também inclusões do próprio zircão. Ocorrem ainda grãos fraturados e também cavidades na superfície dos grãos, ocasionadas pela retirada das inclusões, aspectos estes melhores observados nas fotomicrografias de MEV (Figura 25). A maioria dos grãos apresenta zoneamento concêntrico evidente, sendo estas feições comuns nos grãos de coloração marrom.

Figura 14 - Microfotografias, sob luz natural, dos grãos de zircão, ilustrando a grande variedade de formas ocorrentes nos sedimentos estudados, principalmente grãos prismáticos bipiramidais, subédricos, grãos subarredondados e também fragmentos angulosos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em geral, os zircões da Formação Barreiras, região dos lagos e foz do rio Araguari apresentam características texturais em comum, no entanto, os grãos arredondados e também grãos com elevado grau de fraturamento são mais comuns nos sedimentos da Formação Barreiras, enquanto que na região dos lagos e da foz do rio Araguari predominam grãos prismáticos subédricos a euédricos. Porém, baseando-se somente nestes aspectos, os grãos de zircão não permitem fazer distinção entre as regiões estudadas.

Devido a sua alta estabilidade mecânica e também química, nenhum outro mineral acessório é tão extensivamente estudado quanto o zircão. Mineral acessório muito comum em rochas crustais ácidas a intermediárias, o zircão também pode ser encontrado em rochas de origem lunar e em meteoritos (MANGE; MAURER, 1989).

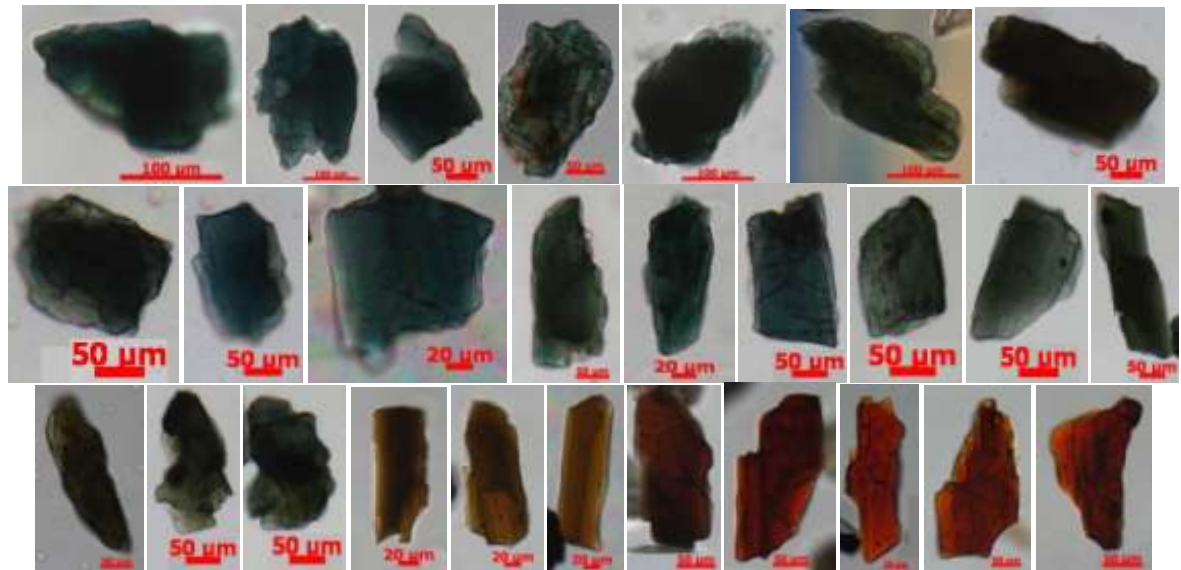
#### **Hornblenda** – $\text{Ca}_2(\text{Fe},\text{Mg})_4\text{AlSi}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$

A hornblenda também é muito comum e frequente (2-33%) nas amostras estudadas, sendo suas maiores concentrações encontradas na região da foz do rio Araguari (33%). Ocorre nas variedades hornblenda comum, identificada pelo pleocroísmo moderado variando de verde amarronzado a verde escuro, e hornblenda basáltica, com pleocroísmo forte, variando de marrom avermelhado a marrom escuro. Apresenta-se preferencialmente como grãos prismáticos, alongados

e curtos, tabulares e/ou irregulares, angulosos a subangulosos, e também grãos subarredondados menos frequentes, além de grãos de contorno irregular, com bordas de aparência “serrilhada”, produzidas por efeito de dissolução (Figura 15). Em alguns grãos é possível observar os traços de clivagem longitudinal bem marcados e, em outros ainda, observa-se a presença de traços de clivagem oblíqua em duas direções (com ângulo de aproximadamente  $56^\circ$ ), observados em sua seção basal.

As características morfológicas e texturais dos grãos de hornblenda para as três regiões em questão são semelhantes e não apresentam variações significativas, divergindo somente em relação às concentrações deste mineral, fato este já discutido no item anterior (6.2.3.1), referente à análise quantitativa das espécies minerais diagnosticadas na área de estudo.

Figura 15 - Microfotografia, sob luz natural, dos grãos de hornblenda e sua morfologia variada, nas variedades hornblenda comum e hornblenda basáltica.



Fonte: Elaborado pela autora.

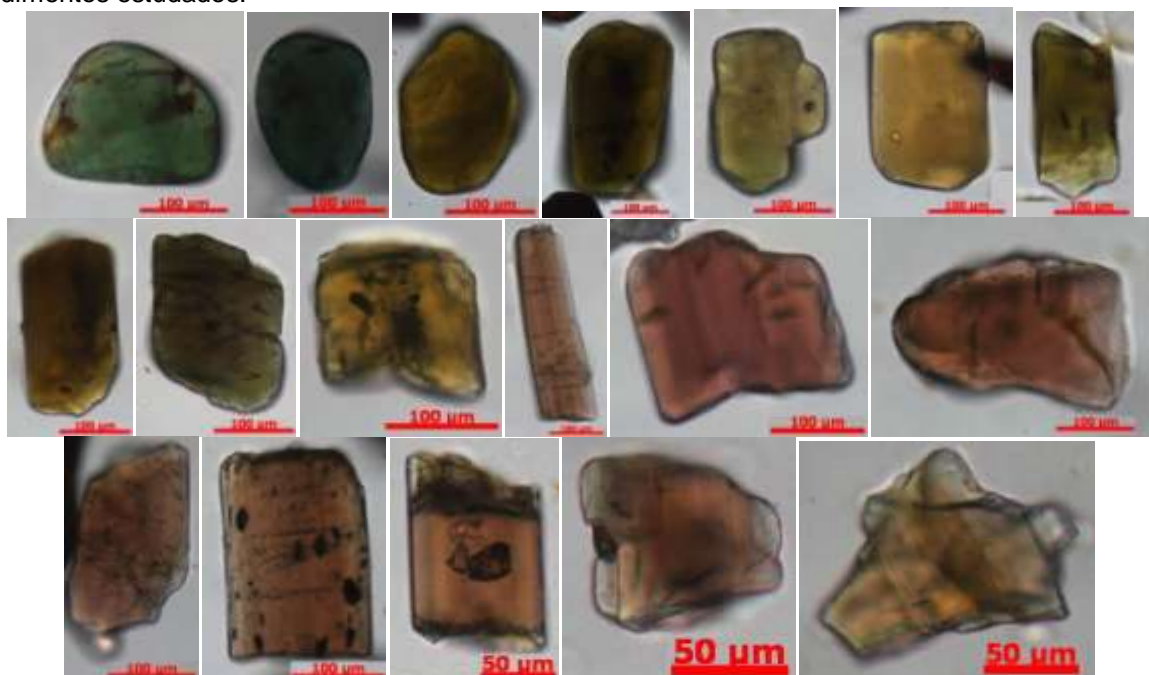
A hornblenda ocorre em uma ampla variedade de rochas ígneas ácidas (granitos, sienitos) e máficas (dioritos, gabros, peridotitos), bem como em rochas metamórficas de alto grau (gnaisse, anfibolitos). Em rochas metamorfisadas regionalmente, variando da facies xisto verde a facies granulito inferior e em rochas metassomáticas, a hornblenda também é um constituinte comum. A hornblenda basáltica é típica de rochas vulcânicas ricas em ferro (basaltos, andesitos, traquitos).

**Turmalina** –  $(\text{Na,Ca})(\text{Al,Fe,Li,Mg})_3\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH,F})_4$

A turmalina é um mineral bastante frequente e comum (1-17%) na fração fina dos sedimentos estudados e o segundo mineral mais abundante na fração grossa (24%); suas maiores concentrações estão nos sedimentos da Formação Barreiras. Ocorre preferencialmente sob a forma de grãos prismáticos, alongados e curtos, subédricos, também como grãos subarredondados a bem arredondados, e ainda como fragmentos angulosos, estes últimos de ocorrência bastante reduzida. Inclusões fluidas e de minerais são feições comuns, especialmente nas turmalinas prismáticas, além de feições de dissolução química (corrosão) e de desgaste mecânico (abrasão). Estrias longitudinais são evidentes em alguns grãos prismáticos. As cores variam entre verde, castanho-esverdeado, marrom e azul.

As turmalinas verdes são geralmente arredondadas a subarredondadas, com inclusões fluidas frequentes; as de cor azul são bem arredondadas e de ocorrência muito reduzida; as turmalinas castanho-esverdeadas e as de cor marrom exibem a maior quantidade de formas, principalmente grãos prismáticos longos e curtos, os quais apresentam frequentes inclusões fluidas e de minerais, também grãos subarredondados e fragmentos angulosos (Figura 16).

Figura 16 - Microfotografias, sob luz natural, dos grãos de turmalina, mostrando as diferentes variedades desta espécie mineral, bem como as diferentes formas como estas se apresentam nos sedimentos estudados.



Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo Addad (2001), as dravitas, turmalinas com magnésio, são castanhas, verdes, azuis ou mais raramente incolores. Schorlitas, turmalinas de ferro e manganês, são comumente castanhas, castanho-esverdeadas e verdes, chegando a grãos pretos, quase opacos. Elbaítas, ricas em lítio e alumínio, podem mostrar tonalidades do azul ao rosa escuro. De acordo com estas informações, pode-se concluir que as variedades de turmalinas que ocorrem na área de estudo são, preferencialmente, dravita e schorlita.

A turmalina forma-se muito comumente em granitos, pegmatitos e em veios pneumatolíticos. Ocorre como mineral acessório em rochas de metamorfismo regional e de contato. É também formada por metassomatismo em xistos, gnaisses e filitos ou ocorre como grãos detríticos recristalizados.

As características morfológicas e texturais dos grãos de turmalina para as três regiões em questão são semelhantes e não apresentam variações significativas, divergindo somente em relação às concentrações deste mineral em cada região e também em relação às cores que ocorrem preferencialmente em certa região, como no caso da turmalina de cor azul que ocorre exclusivamente nos sedimentos da foz do rio Araguari.

#### **Hiperstênio – $(\text{Mg,Fe})_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$**

Mineral frequente, porém pouco comum (1-12%) na fração fina dos sedimentos estudados, sendo ausente na fração grossa. O hiperstênio ocorre preferencialmente como grãos de coloração verde pálido, com pleocroísmo fraco, variando de amarelo pálido a verde pálido, sob a forma de prismas alongados e curtos, sendo estes últimos os tipos mais abundantes, subédricos, também como grãos angulosos a subangulosos. Feições de dissolução química e inclusões fluidas e de minerais opacos são comuns (Figura 17).

Figura 17 - Microfotografia, sob luz natural, dos grãos de hiperstênio, destacando prismas alongados e curtos, como também, destaque para feições de corrosão na superfície de alguns grãos, demonstrando feições de dissolução química.



Fonte: Elaborado pela autora.

De modo geral, os grãos de hiperstênio presentes nos sedimentos das três regiões consideradas, apresentam características morfológicas e texturais semelhantes, não sendo observadas variações significativas. No entanto, ambas as regiões possuem grãos afetados por dissolução química, o que sugere que estes sedimentos estejam passando por interações com ácidos orgânicos (BERRÊDO, 2006). Em condições de forte intemperismo, os piroxênios são muito rapidamente atacados e dissolvidos por soluções ácidas, durante o transporte ou mesmo após a deposição, de acordo com Suguu (1983) apud Mendes (1994).

Mineral comum em rochas ígneas extrusivas e intrusivas básicas, intermediárias e ultrabásicas, tais como piroxenitos, gabros, noritos, basaltos, andesitos e dacitos. Aparece ainda em alguns granitos e sienitos. A presença de hiperstênio também tem sido reportada em rochas metamórficas, as quais incluem charnockitos, hiperstênio-granulitos, hiperstênio-anfibolitos e gnaisses.

### **Diopsídio – $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$**

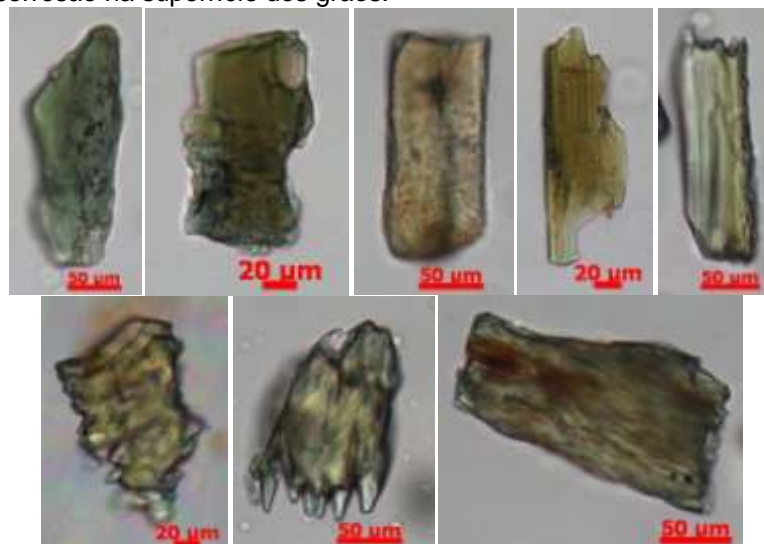
Mineral de ocorrência pouco frequente e também pouco comum (1-12%) na amostra fina dos sedimentos analisados, sendo ausente na fração grossa. O diopsídio apresenta-se na forma de grãos esverdeados, levemente pleocróicos, irregulares, de aparência corroída e também terminações denteadas (feições de

dissolução química). Ainda estão presentes grãos prismáticos, predominantemente curtos, subédricos, e, em proporções bem mais reduzidas, ocorrem alguns fragmentos angulosos a subangulosos (Figura 18). Uma feição comum nos grãos de diopsídio é a ocorrência de inclusões de minerais opacos.

Em geral, os grãos de diopsídio da Formação Barreiras, região dos lagos e foz do rio Araguari apresentam características texturais e morfológicas em comuns, divergindo apenas em relação as suas concentrações, as quais são mais elevadas nos sedimentos da região dos lagos e da foz do rio Araguari. Porém, baseando-se somente nestes aspectos, os grãos de diopsídio não permitem fazer distinção entre as regiões estudadas.

Constituinte comum de rochas eruptivas ultrabásicas (peridotitos e kimberlitos), o diopsídio pode também ocorrer em basaltos alcalinos, andesitos, magmas sub-alcalinos. O diopsídio é também formado por metamorfismo regional e metamorfismo de contato de sedimentos ricos em Ca, sendo comum em xistos de derivação ígnea e sedimentar, ricos em Ca e Mg. Muito comum em rochas metassomáticas e skarnitos, ocorre ainda em granulitos, gnaisses e micaxistos.

Figura 18 - Microfotografia, sob luz natural, dos grãos de diopsídio, mostrando grãos preferencialmente prismáticos, curtos, também grãos irregulares com extremidades denteadas, e ainda, feições de corrosão na superfície dos grãos.



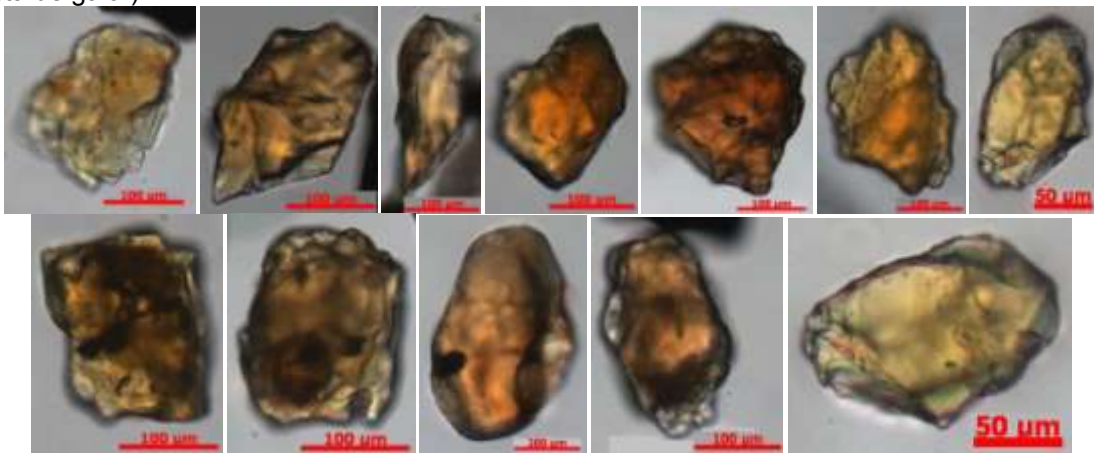
Fonte: Elaborado pela autora.

### **Estauroлита** – $(\text{Fe},\text{Mg})_2(\text{Al},\text{Fe})_9\text{O}_6$

Mineral pouco frequente (1-8%) na fração fina dos sedimentos estudados, a estauroлита é relativamente mais abundante na fração grossa (5-19%). Ocorre

preferencialmente como grãos irregulares, angulosos a subangulosos, e ainda alguns grãos subarredondados (Figura 19). Apresenta fratura conchoidal, inclusões fluidas e de minerais opacos, além de bordas corroídas, conferindo aos grãos um padrão típico de “crista de galo”, evidenciando corrosão por dissolução química (TOMAZELLI, 1978). As cores desse mineral variam de amarelo claro a amarelo amarronzado.

Figura 19 - Microfotografias de estaurolita, mostrando grãos angulosos, subangulosos, subarredondados, com inclusões fluidas e de minerais opacos, e feições de dissolução química (“crista de galo”).



Fonte: Elaborado pela autora.

Mineral quase que exclusivamente produto de metamorfismo regional de médio grau, sendo formada em micaxistos derivados de sedimentos argilosos e de ocorrência menos frequente em gnaisses.

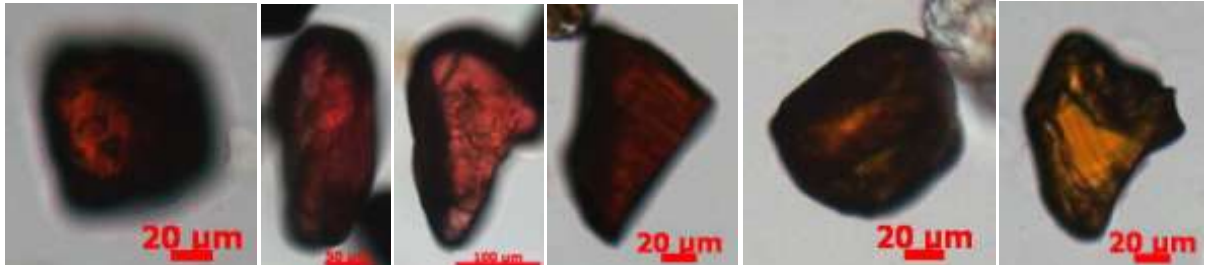
### **Rutilo – TiO<sub>2</sub>**

O rutilo é um mineral que ocorre em proporções bastante reduzidas nos sedimentos estudados, tanto na fração grossa (1%) quanto na fração fina (2%). Apresenta-se na forma de grãos angulosos, com arestas progressivamente arredondadas, também prismas curtos e alongados, subédricos, subarredondados a arredondados, nas tonalidades que variam de marrom-avermelhado a amarelo-amarronzado (Figura 20). Fraturas nos grãos e indícios de abrasão mecânica são feições comuns.

O rutilo é um mineral acessório comum em rochas metamórficas, particularmente em xistos, gnaisses e anfibolitos. É menos significativo em rochas

ígneas, onde ocorre em tipos plutônicos ricos em hornblenda e também em pegmatitos.

Figura 20 - Microfotografia dos grãos de rutilo, destacando grãos irregulares com formas predominantemente angulosas.



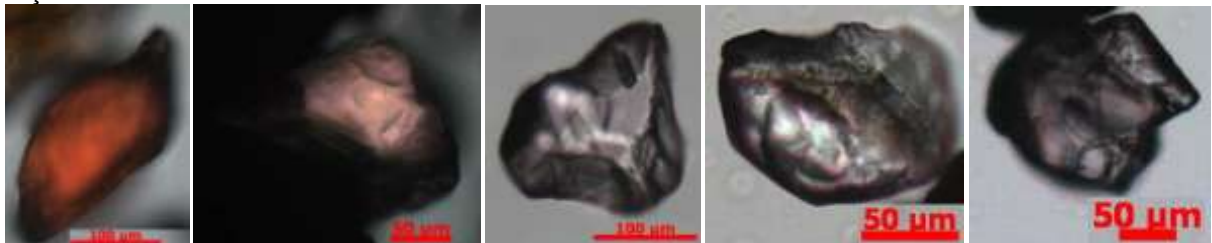
Fonte: Elaborado pela autora.

### Granada – $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Mg}, \text{Ca})_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

A granada é um mineral que ocorre em proporções bastante reduzidas nos sedimentos estudados, tanto na fração fina (2%) quanto na fração grossa (3%). Predominam grãos irregulares, subangulosos a angulosos, de relevo alto e apresentando inclusões fluidas e de outros minerais, ainda são comuns feições de dissolução química (corrosão). Aparece como grãos incolores, em sua maioria, e em menor proporção grãos cor-de-rosa e marrons (Figura 21).

A granada é um mineral comum em uma extensa variedade de rochas metamórficas e está também presente em rochas ígneas plutônicas, pegmatitos, em variedades ultramáficas e em algumas ácidas vulcânicas. De acordo com Mange e Maurer (1989), a variedade de granada mais comum em sedimentos é a almandina.

Figura 21 - Microfotografias dos grãos de granada, destacando grãos irregulares, angulosos e com feições corrosivas.



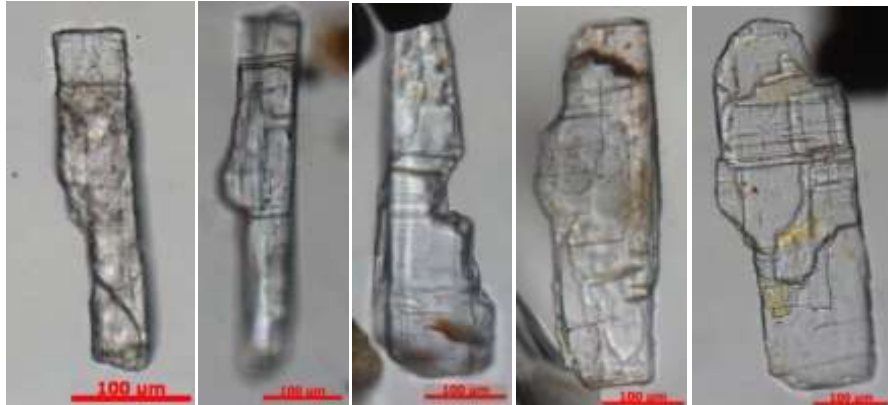
Fonte: Elaborado pela autora.

### Cianita – $\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$

A cianita ocorre em proporções reduzidas nas amostras analisadas, variando de 2-6% na fração grossa e de 1-3% na fração fina. Este mineral ocorre

predominantemente como grãos tabulares, incolores, exibindo formas prismáticas alongadas, com traços de clivagens e partições ortogonais (Figura 22). Alguns grãos apresentam bordas levemente arredondadas, e, outros ainda, mostram inclusões de minerais opacos.

Figura 22 - Microfotografia de grãos de cianita, com destaque para o hábito prismático alongado e também para a clivagem ortogonal (90°) característica.



Fonte: Elaborado pela autora.

Este mineral ocorre em gnaisses, granulitos e xistos pelíticos gerados por metamorfismo regional de rochas paraderivadas, principalmente. É considerado um mineral indicativo da zona metamórfica de alta pressão.

### **Silimanita** – $\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$

De ocorrência bastante reduzida (em torno de 1%) em ambas as frações consideradas, a silimanita aparece em tonalidades que variam de marrom claro a incolor, mostrando grãos de hábito prismático, em sua maioria alongados, também grãos de aspecto fibroso, subarredondados a subangulosos (Figura 23). A presença de grãos com bordas corroídas evidenciam dissolução por ataque químico. São comuns inclusões fluidas e de outros minerais não identificados.

A silimanita cristaliza em rochas metamórficas de alta temperatura e ocorre em silimanita-cordierita gnaisses e biotita-silimanita hornfels, estando também presente em rochas da facies granulito. Metamorfismo regional de alto grau de rochas pelíticas também produz silimanita.

Figura 23 - Microfotografia dos grãos de silimanita identificados nos sedimentos estudados, destacando grãos preferencialmente prismáticos e alongados.



Fonte: Elaborado pela autora.

### Andaluzita – $\text{Al}_2\text{O}_3[\text{SiO}_4]$

Mineral pouco comum nas amostras analisadas, com proporções médias de 6% para a fração grossa e de 1 % para a fração fina. A andaluzita exibe pleocroísmo fraco, variando de incolor a rosa claro, apresentando grãos angulosos a subangulosos, também ocorre como prismas subédricos. Inclusões fluidas e de minerais opacos são extremamente comuns neste mineral (Figura 24).

De origem tipicamente metamórfica, a andaluzita aparece muito comumente em rochas pelíticas de auréolas de contato ao redor de intrusões ígneas. Também comum em gnaisses e xistos e como mineral acessório em granitos, pegmatitos, granodioritos e sienitos.

Figura 24 - Microfotografias, sob luz natural, dos grãos de andaluzita, destaque para grãos angulosos a subangulosos.



Fonte: Elaborado pela autora.

### **Apatita – Ca(PO<sub>4</sub>)(F,OH,Cl)**

De ocorrência muito restrita e reduzida (< 1%), ocorre como grãos incolores, de hábito prismático (prismas curtos), subédricos, e também fragmentos angulosos a subangulosos. A apatita é um mineral acessório comum em quase todos os tipos de rochas ígneas, sendo relativamente abundante em rochas graníticas. Também é muito comum em sedimentos, sob a forma de grãos detríticos.

### **Minerais Opacos**

Este grupo de minerais constituem grãos com uma enorme variedade de formas, desde grãos bem arredondados a angulosos, até grãos prismáticos subédricos a euédricos. Ocorrem de forma muito significativa em várias amostras, chegando a perfazer mais de 70% do total dos grãos. As informações referentes à mineralogia, textura e micromorfologia deste grupo de minerais serão abordadas no tópico 6.2.3.4, referente às análises feitas no MEV, bem como as imagens e os resultados obtidos de EDS dos tipos mais significativos encontrados nos sedimentos analisados.

#### **6.2.3.3 Micromorfologia dos principais minerais pesados transparentes**

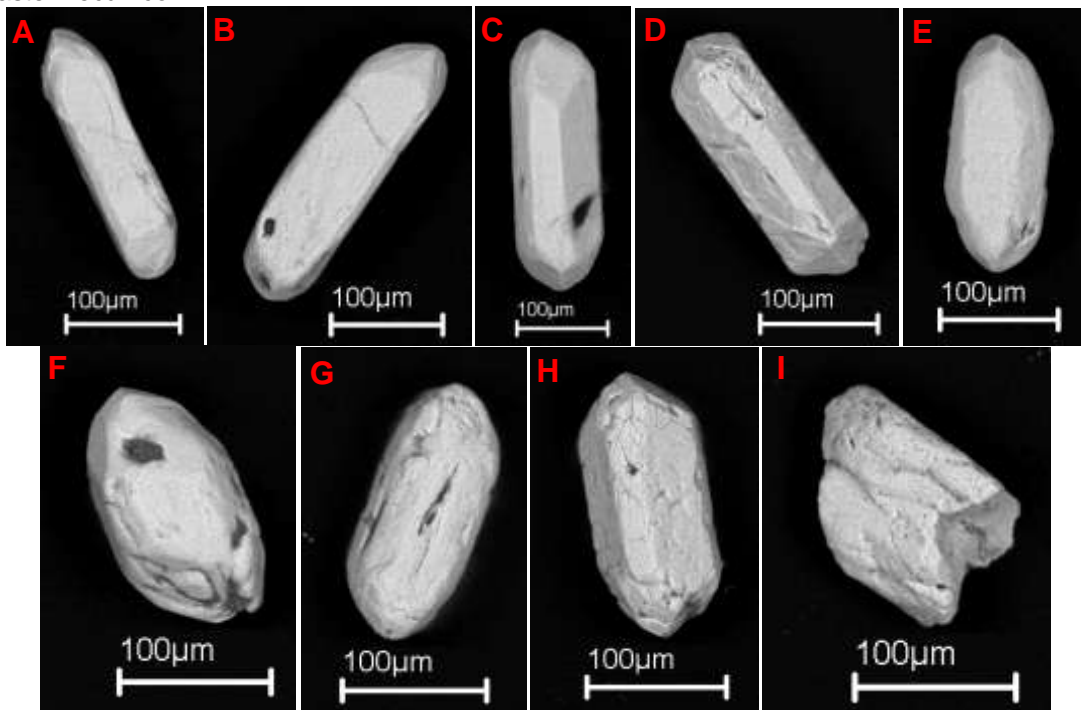
Para as análises direcionadas à morfologia e textura dos grãos ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), foram selecionadas três amostras representativas da área de estudo, sendo **Am-32** referente aos sedimentos Barreiras, **Am-17** à região dos lagos e **Am-1, 2, 3, 4** à região da foz do rio Araguari. Dentre estas amostras foram separados os minerais de ocorrência mais significativa e que melhor representam o conteúdo mineralógico dos sedimentos em questão.

### **Formação Barreiras**

Nos sedimentos Barreiras os minerais tomados como referência foram zircão (37%), turmalina (12%) e estaurolita (5%). No caso do zircão, este apresenta-se preferencialmente como grãos prismáticos, alongados e curtos, euédricos a subédricos, alguns grãos mostram faces cristalinas bem definidas; ainda se observa feições de desgaste mecânico (abrasão), cavidades derivadas da retirada de inclusões, como também grãos intensamente fraturados, e ainda fragmentos angulosos (Figura 25). Os grãos de turmalina são prismáticos, em geral prismas

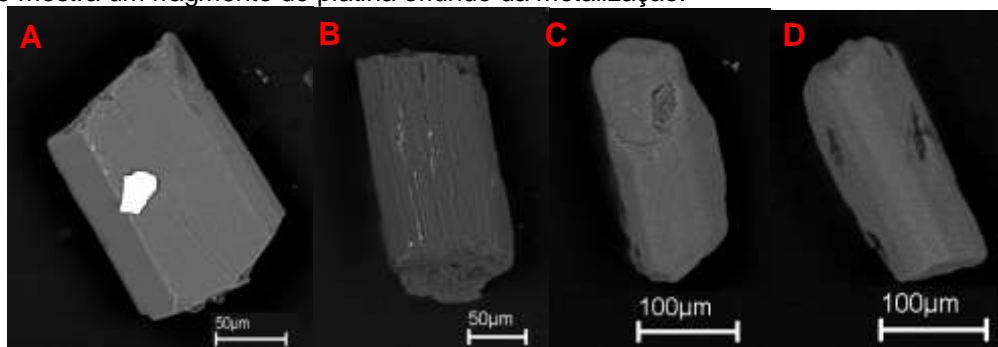
curtos, subédricos, com arestas progressivamente arredondadas, alguns grãos mostram estrias longitudinais evidentes, feições de dissolução química e de desgaste mecânico são comuns (Figura 26). Em relação aos grãos de estaurolita, estes apresentam formas irregulares variadas, sendo predominantes grãos angulosos a subangulosos, mostrando fratura conchoidal e intensas feições corrosivas, como cavidades e bordas em “crista de galo”. Alguns grãos apresentam geminação em cotovelo, típica deste mineral (Figura 27).

Figura 25 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos grãos de zircão dos sedimentos da Formação Barreiras: (B, D, F) cavidades na superfície dos grãos; (C, D, F) grãos prismáticos subarredondados; (G, H) grãos intensamente fraturados; (E, F, G, H, I) feições de desgaste mecânico.



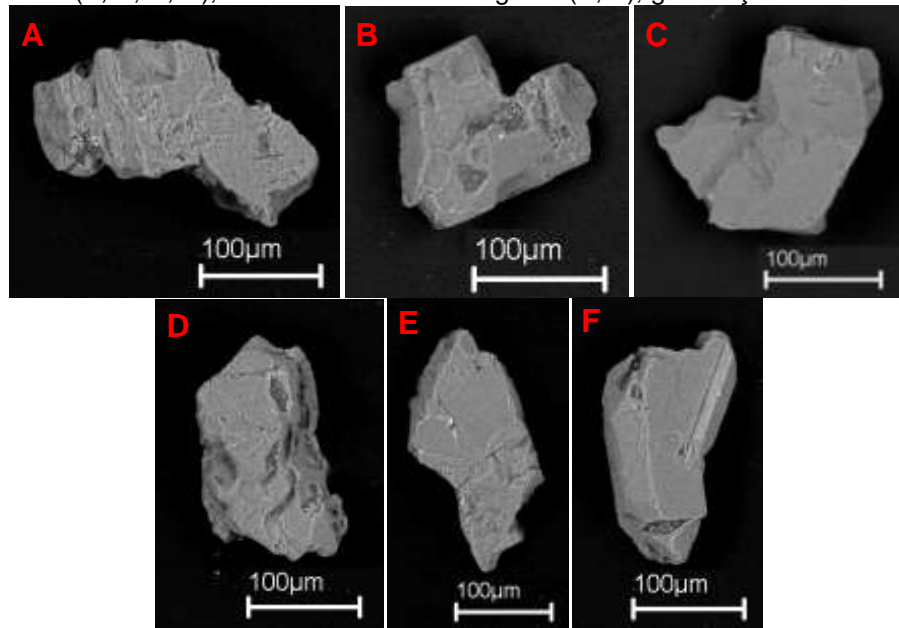
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 26 - Micromorfologia dos grãos de turmalina da Formação Barreiras, com destaque para feições de dissolução química em B; indícios de desgaste mecânico em C e D. Em A, a área em destaque mostra um fragmento de platina oriundo da metalização.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 27 - Imagens de MEV dos grãos de estauroлита da Formação Barreiras: grãos mostrando feições corrosivas (A, B, C, D); fratura conchoidal nos grãos (E, F); geminação em cotovelo (B, F).

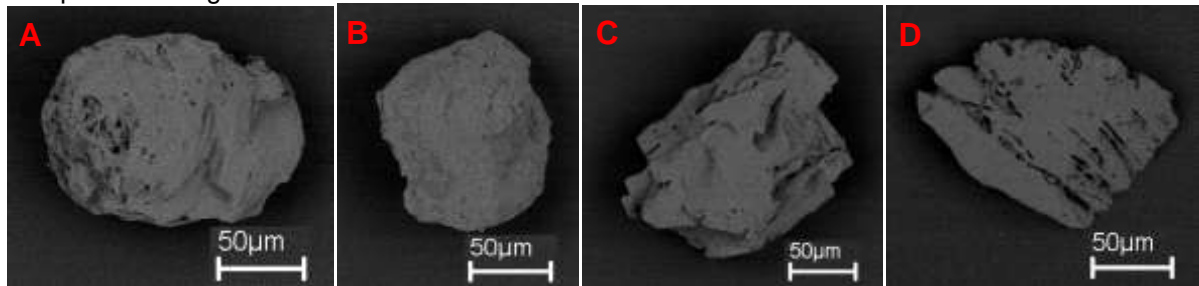


Fonte: Elaborado pela autora.

### Região dos Lagos

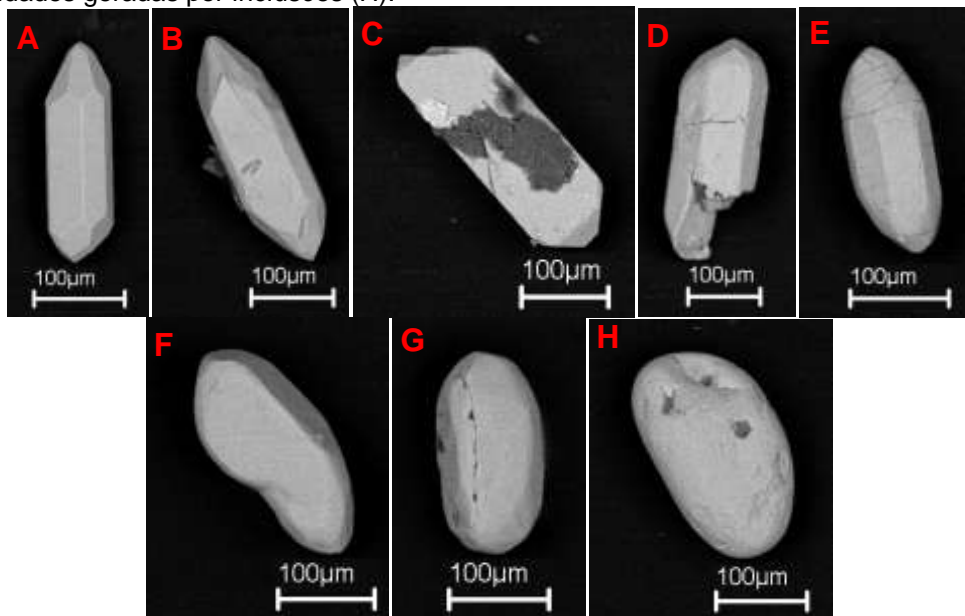
Na região dos lagos os minerais selecionados foram epidoto (43%), zircão (21%), hornblenda (17%) e turmalina (4%). Em relação à micromorfologia do epidoto, este mineral que aparece como mais abundante na área de estudo, mostra-se sob a forma de grãos irregulares, angulosos a subangulosos, com muitas cavidades na superfície dos grãos, o que pode indicar dissolução química (Figura 28). No caso do zircão, este apresenta-se, predominantemente, como prismas subédricos a euédricos de hábito bipiramidal, com fácies cristalinas bem definidas; outros grãos possuem arestas progressivamente arredondadas, como também grãos arredondados; fraturamento, abrasão mecânica, zoneamento composicional e cavidades oriundas da retirada de inclusões são as demais feições observáveis nestes grãos (Figura 29). As hornblendas apresentam-se em grãos prismáticos, angulosos a subangulosos, com feições corrosivas são pouco evidentes (Figura 30). Os grãos de turmalina da região dos lagos, em contraste com os sedimentos da Formação Barreiras, são prismáticos subédricos, subarredondados a subangulosos, mostrando bordas corroídas, evidência de dissolução por ataque químico (Figura 31).

Figura 28 - Imagens de MEV dos grãos de epidoto da região dos lagos, mostrando grãos subarredondados (A, B) e angulosos (C, D), com destaque para as cavidades de dissolução química na superfície dos grãos.



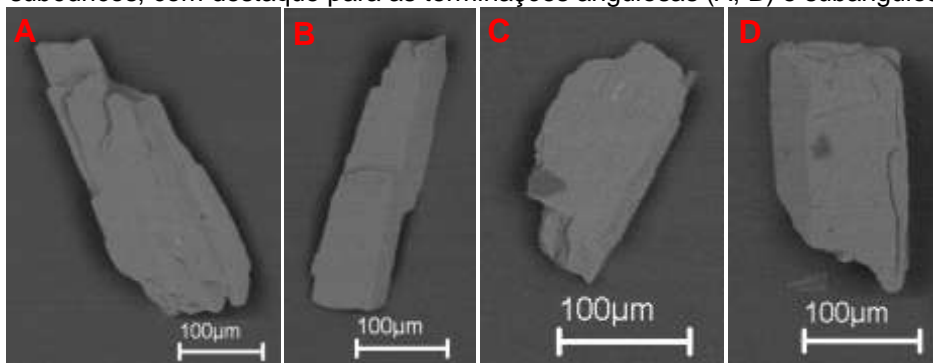
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 29 - Imagens de MEV dos zircões da região dos lagos, mostrando: prismas euédricos com terminação bipiramidal e fácies cristalinas bem definidas (A, B, C) e grãos subarredondados (F, G) e arredondados (H); zoneamento composicional (C); feições de impacto mecânico (D, G); fraturamento (E); e cavidades geradas por inclusões (H).



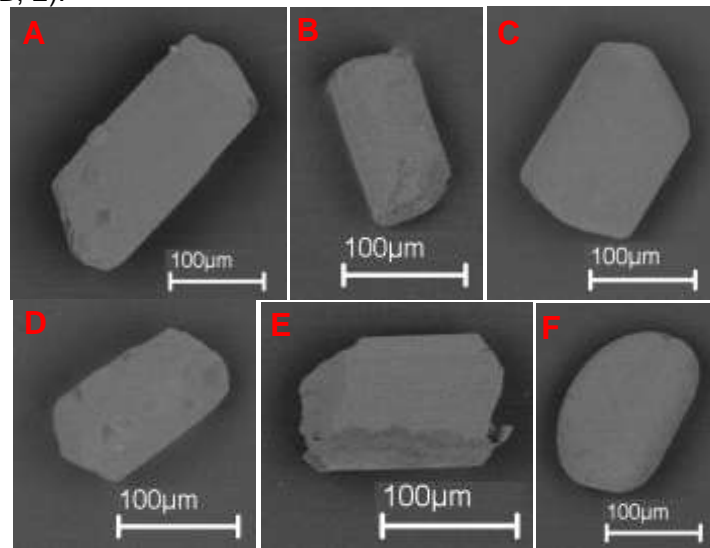
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 30 - Micromorfologia dos grãos de hornblenda da região dos lagos, mostrando grãos prismáticos subédricos, com destaque para as terminações angulosas (A, B) e subangulosas (C, D).



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 31 - Imagens de MEV dos grãos de turmalina dos sedimentos referentes à região dos lagos, mostrando grãos prismáticos (A, B, C, D, E) e grão arredondado (F); destaque para feição de ataque químico (corrosão) (B, E).

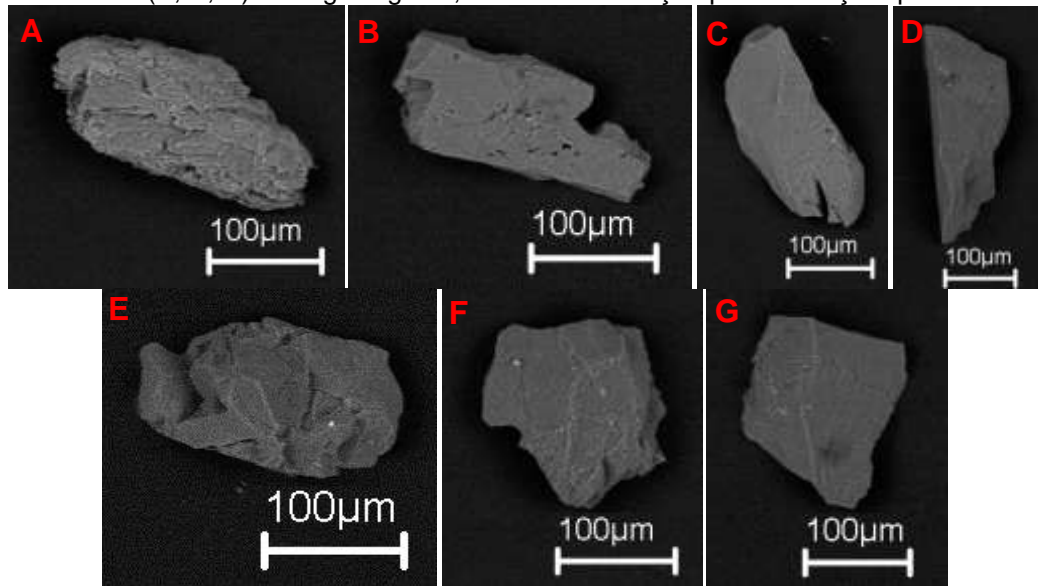


Fonte: Elaborado pela autora.

### Foz do Rio Araguari

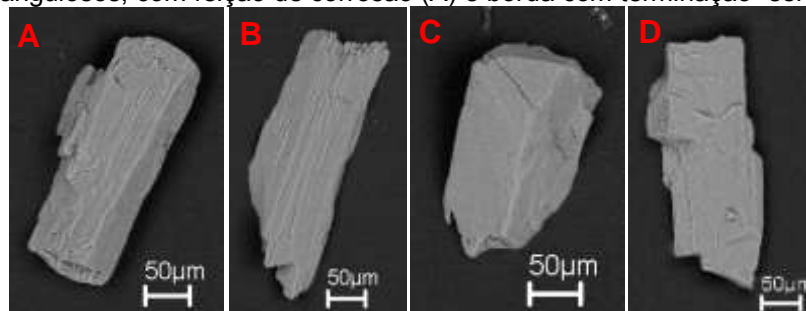
Para as análises dos sedimentos da região da foz do rio Araguari, os minerais selecionados foram epidoto (42%), hornblenda (33%), hiperstênio (9%) e zircão (3%). O epidoto aparece como grãos angulosos, irregulares, mostrando alterações superficiais produzidas por dissolução, o que provoca um aspecto escamoso nos mesmos (Figura 32). A hornblenda apresenta-se sob a forma de grãos prismáticos subédricos, subangulosos a angulosos, mostrando terminação de aspecto “serrilhado”, feições de impacto mecânico (Figura 33). O hiperstênio, mineral comum nas amostras da foz do rio Araguari, mostra grãos prismáticos, subédricos, angulosos a subangulosos, também grãos com feições de dissolução química e de impacto mecânico (Figura 34). Em relação aos zircões, estes aparecem como prismas subédricos a euédricos, de habito bipiramidal, com fácies cristalinas bem definidas; alguns grãos mostram cavidades em sua superfície e feições de impacto mecânico, outros grãos encontram-se ligeiramente subarredondados (Figura 35).

Figura 32 - Micromorfologia dos grãos de epidoto da foz do rio Araguari, com destaque para feições o aspecto escamoso (A, B, C) em alguns grãos, indicando alteração por dissolução química.



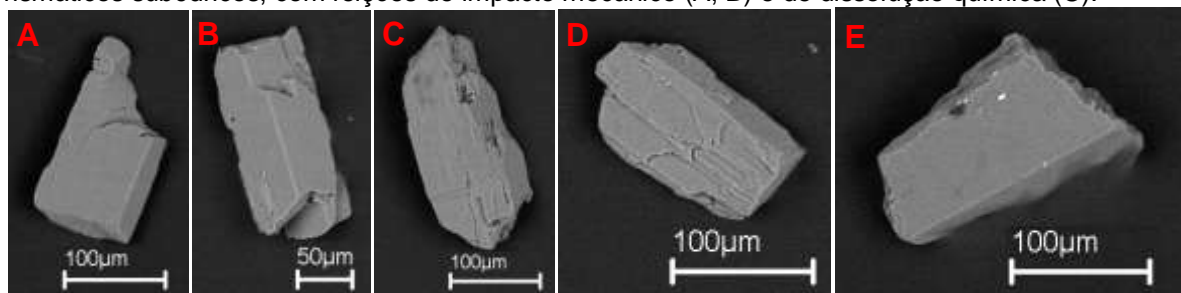
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 33 - Imagens de MEV das hornblendas da foz do rio Araguari, mostrando grãos prismáticos subangulosos a angulosos; com feição de corrosão (A) e borda com terminação “serrilhada” (B).



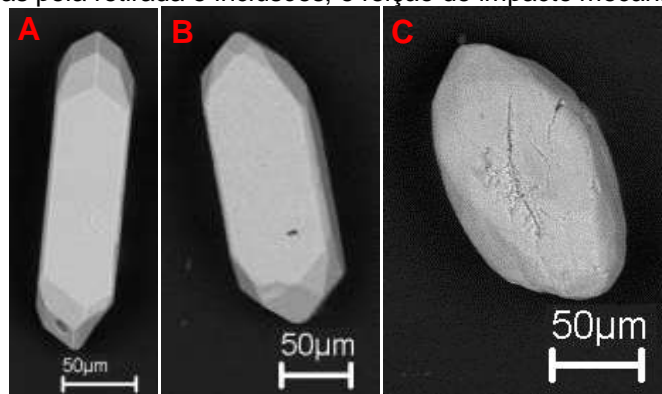
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 34 - Micromorfologia dos grãos de hiperstênio da foz do rio Araguari, destacando grãos prismáticos subédricos, com feições de impacto mecânico (A, B) e de dissolução química (C).



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 35 - Micromorfologia dos grãos de zircão da foz do rio Araguari. Destaque para cristais prismáticos bipiramidais, com fácies cristalinas bem definidas (A, B); cavidades na superfície dos grãos (A, B), provocadas pela retirada e inclusões; e feição de impacto mecânico (C).



Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se, ao analisar as características morfológicas e texturais dos minerais pesados da zona costeira do Estado do Amapá, que não existem diferenças significativas entre as três regiões estudadas, salvo pequenas alterações de cunho irrelevante, as quais não são suficientes para que se faça distinção entre as três regiões em questão, permitindo sugerir que estes sedimentos estejam sendo influenciados por área (s)-fonte (s) semelhante (s).

#### 6.2.3.4 Micromorfologia e EDS dos principais minerais pesados opacos

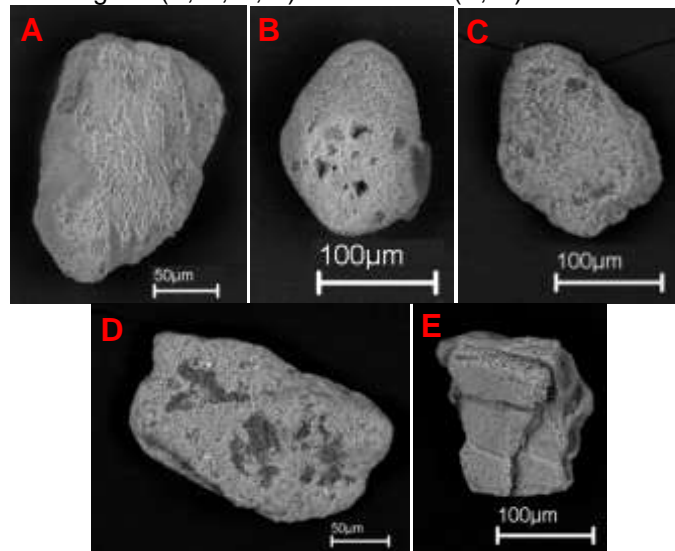
As análises semi-quantitativas de EDS realizadas nos minerais pesados opacos da zona costeira do estado do Amapá revelou a ocorrência de duas espécies principais de minerais pesados opacos nestes sedimentos, sendo representados, por anatásio e ilmenita. Também verificou-se a ocorrência de magnetita nas amostras, assim como descrito em trabalhos anteriores (MENDES, 1994; TORRES, 1997), porém esta foi identificada apenas através de simples exame com imã comum.

#### **Anatásio** – $\text{TiO}_2$

Este mineral apresenta-se sob a forma de grãos anédricos, arredondados a bem arredondados, também grãos prismáticos subédricos. Feições de corrosão por dissolução química ocorrem de forma intensa na superfície dos grãos, conferindo um aspecto enrugado e formando cavidades (Figura 36). O espectro de EDS do anatásio (Figura 37) mostra as proporções relativas de cada elemento químico

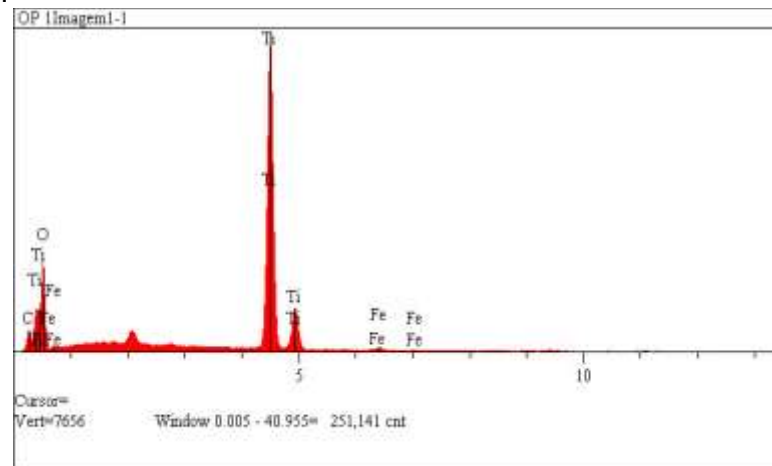
componente deste mineral, com destaque para os picos principais de Ti e O, e, também, uma pequena quantidade de Fe.

Figura 36 - Micromorfologia dos grãos de anatásio, com destaque para feições de corrosão por ataque químico: aspecto enrugado (A, C, D, E) e cavidades (B, D).



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 37 - Espectro de EDS do anatásio, mostrando os picos principais de Ti e O; e uma pequena quantidade de Fe.



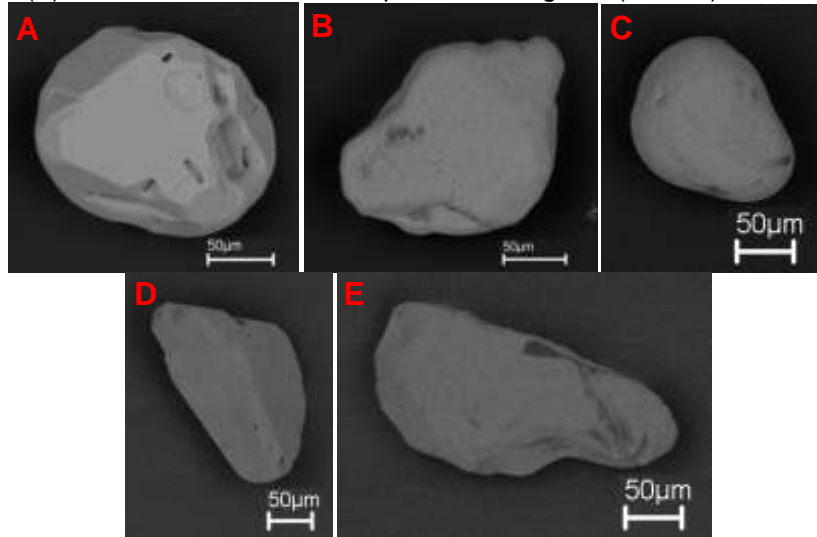
Fonte: Elaborado pela autora.

### **Ilmenita – FeTiO<sub>3</sub>**

A ilmenita aparece como grãos que variam desde prismáticos euédricos a subédricos, também grãos anédricos, subarredondados, subangulosos e arredondados. Cavidades provocadas pela retirada de inclusões são feições comuns em alguns grãos (Figura 38). A Figura 39 mostra o espectro da análise semi-

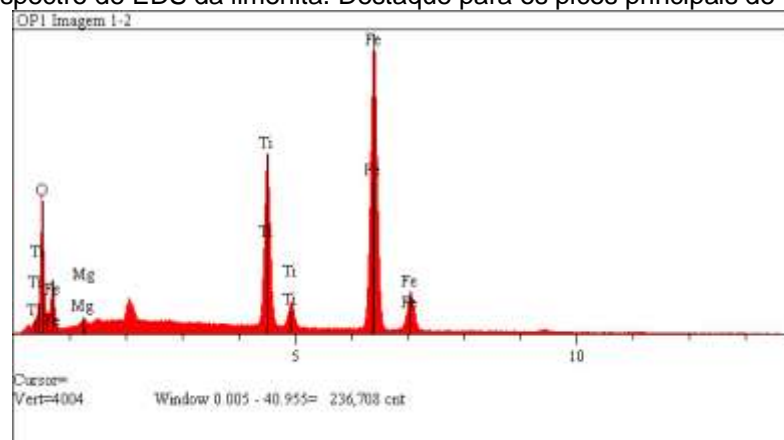
quantitativa de EDS realizada na ilmenita, mostrando que Fe, Ti e O são os constituintes principais deste mineral, ocorrendo uma pequena quantidade de Mg.

Figura 38 - Micromorfologia dos grãos de ilmenita, mostrando hábito octaédrico com fácies cristalinas bem preservadas (A), além de cavidades nas superfícies dos grãos (A, D, E).



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 39 - Espectro de EDS da ilmenita. Destaque para os picos principais de Fe, Ti, O e Mg.



Fonte: Elaborado pela autora.

## 6.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

### 6.3.1 Elementos Maiores

As análises químicas mostraram que os sedimentos analisados são constituídos basicamente por  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , como óxidos principais, e subordinadamente ocorrem  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , além de  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , C e S. Para as amostras de solo do Terciário (Formação Barreiras?), o teor médio de  $\text{SiO}_2$  é de  $70,68 \pm 8,55\%$ ; a proporção de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é de aproximadamente  $13,36 \pm$

5,11%; e a de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é de  $4,64 \pm 2,00\%$ . Para as amostras de sedimentos de fundo de rio e de lago do Quaternário, o teor médio de  $\text{SiO}_2$  é de  $66,36 \pm 3,19\%$ ; o valor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é de aproximadamente  $13,14 \pm 1,34\%$ ; e o de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  fica em torno de  $5,37 \pm 1,17\%$ . Estes óxidos juntos representam aproximadamente 85% da composição química total dos sedimentos analisados. Os teores relativamente elevados de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  demonstram que estes sedimentos estão sendo lixiviados pelo intenso intemperismo tropical, semelhante ao comportamento observado em outras regiões da Amazônia, como relatado por Kronberg et. al. (1979) e Konhauserb et. al. (1994) (Tabela 8).

Quando comparados aos valores crustais (TAYLOR; MCLENNAN, 1985), nota-se que os sedimentos terciários apresentam-se enriquecidos em  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ , e empobrecidos em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Em relação aos sedimentos quaternários, estes são levemente enriquecidos em  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , e empobrecidos em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ; os valores de  $\text{MnO}$  são compatíveis. Essa diferença nas concentrações de  $\text{P}_2\text{O}_5$  pode ser explicada pela maior quantidade de matéria orgânica nos sedimentos quaternários.

Tabela 8 - Valores médios dos sedimentos terciários e quaternários com os valores médios da composição da crosta continental superior e de solos da Amazônia. Valores em percentagem em peso.

ÓXIDOS	Terciário (%)	Quaternário (%)	Crosta Continental <sup>(1)</sup> (%)	Formação Barreiras <sup>(2)</sup> (%)	Solos da Amazônia Central <sup>(3)</sup> (%)	
$\text{SiO}_2$	70,68	66,36	66,0	66,33	70,22a	52,0b
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13,36	13,14	15,2	21,68	16,66	20,0
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4,64	5,37	4,49	1,34	2,79	15,78
$\text{TiO}_2$	1,06	0,88	0,50	1,0	0,62	1,12
$\text{CaO}$	0,35	0,75	4,2	0,05	0,00	0,001
$\text{MgO}$	0,7	1,19	2,2	0,05	0,18	0,04
$\text{Na}_2\text{O}$	0,65	1,24	3,9	0,04	0,00	0,04
$\text{K}_2\text{O}$	1,4	2,15	3,4	0,07	0,04	0,10
$\text{MnO}$	0,04	0,08	0,08	0,03	0,02	0,08
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,07	0,26	0,2	-	0,04	0,07

<sup>(1)</sup> Taylor e McLennan (1985);

<sup>(2)</sup> Berrêdo et. al. (2008);

<sup>(3)</sup> Kronberg et. al. (1979)a; Konhauserb et. al.(1994)b.

Fonte: Elaborado pela autora.

Comparando as concentrações dos elementos maiores nas amostras do Terciário do Amapá (Formação Barreiras) com as concentrações da Formação Barreiras segundo Berrêdo et. al., 2008, é possível notar que os valores são incompatíveis, pois as amostras do Terciário são extremamente empobrecidas em

$\text{Al}_2\text{O}_3$  e enriquecidas nos demais elementos, com exceção das concentrações de  $\text{TiO}_2$  que apresentam teores relativamente próximos.

De modo geral, as concentrações de  $\text{SiO}_2$  decrescem e as de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  aumentam das amostras do Terciário (onde o conteúdo de sedimentos grossos é mais elevado) para os sedimentos quaternários (caracterizados por dominância de sedimentos argilosos), devido, principalmente, ao incremento no conteúdo de argilominerais e de minerais pesados máficos (p.e., hornblenda e piroxênios), com exceção do  $\text{TiO}_2$ , o qual apresenta teores médios mais elevados (1,06%), provavelmente associados ao anatásio e à ilmenita, minerais característicos de sedimentos mais grossos.

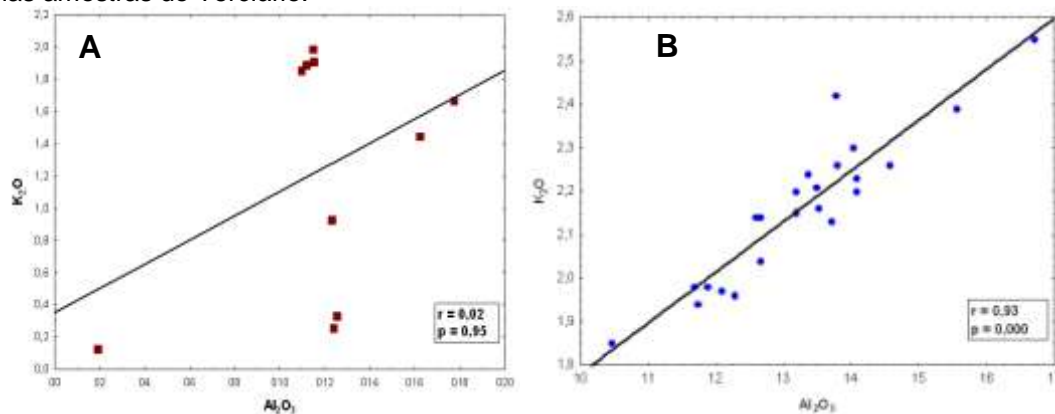
Dentre os sedimentos quaternários existe baixas a moderadas correlação negativa entre  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $r = -0,33$ ),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $r = -0,47$ ),  $\text{CaO}$  ( $r = -0,37$ ),  $\text{MgO}$  ( $r = -0,49$ ),  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $r = -0,06$ ),  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r = -0,18$ ),  $\text{MnO}$  ( $r = -0,34$ ) e  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $r = -0,40$ ). Somente  $\text{TiO}_2$  apresentou correlação positiva ( $r = 0,36$ ), indicando que o conteúdo de  $\text{TiO}_2$  aumenta proporcionalmente ao de  $\text{SiO}_2$ . Em relação às amostras do Terciário, existem boas correlações negativas entre  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $r = -0,89$ ), indicando que as concentrações destes elementos possuem comportamento inverso. As demais correlações negativas são moderadas a fracas com  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $r = -0,59$ ),  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r = -0,39$ ),  $\text{MgO}$  ( $r = -0,20$ ),  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $-0,19$ ),  $\text{TiO}_2$  ( $r = -0,16$ ),  $\text{MnO}$  ( $r = -0,05$ ) e  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $r = -0,003$ ). Existe ainda fraca correlação positiva de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{CaO}$  ( $r = 0,03$ ).

Quando as correlações são feitas tomando-se por base  $\text{Al}_2\text{O}_3$  existe ótima correlação positiva deste com  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r = 0,93$ ), nas amostras do Quaternário, o que indica que as concentrações destes elementos são diretamente proporcionais, e estas refletem o conteúdo mineralógico destes sedimentos, dominado principalmente por esmectita, caulinita e muscovita. No entanto, nas amostras do Terciário este comportamento não é observado, pois o coeficiente de correlação entre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r = 0,02$ ) indica baixíssima significância (Figura 40).

Com base nas relações de  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  é possível notar que os sedimentos quaternários são correlacionáveis aos padrões NASC (GROMET et. al., 1984) e PAAS (TAYLOR; MCLENNAN, 1985), refletindo o domínio dos argilominerais na constituição destes (Figura 41). A razão  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  mantém-se com média de 5,07 para os sedimentos quaternários, e média de 5,31 para os terciários, sendo estes valores bem mais elevados em comparação com NASC

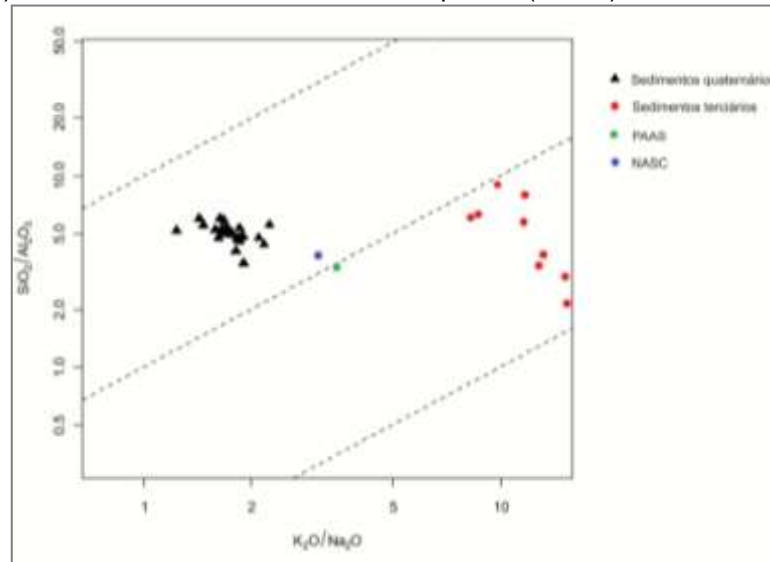
(3,83) e PAAS (3,32). Quando analisada a razão  $K_2O/Na_2O$ , os sedimentos quaternários apresentam valores médios de 1,75 e os sedimentos terciários média de 7,53, sendo, portanto, esta diferença devido à influência salina nos sedimentos quaternários, a qual provoca o aumento da concentração de  $Na_2O$  e conseqüentemente diminui a razão dos álcalis.

Figura 40 - Coeficientes de correlação  $r$  para as amostras do Terciário (A) e Quaternário (B), mostrando ótima correlação entre  $Al_2O_3$  e  $K_2O$ , nos sedimentos quaternários, fato este não observado nas amostras do Terciário.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 41 - Diagrama  $K_2O/Na_2O$  versus  $SiO_2/Al_2O_3$ . Valores médios dos sedimentos quaternários e terciários são plotados em comparação com os valores médios dos Folhelhos Australianos Pós-Arqueanos (PAAS) e Folhelhos Norte-americanos Compostos (NASC).



PAAS: Taylor e McLennan (1985); NASC: Gromet et. al. (1984)

Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores obtidos das análises químicas para os elementos maiores, total de C e S e perda ao fogo podem ser observados na Tabela 9, juntamente com a média destes, valores mínimos e máximos e o desvio padrão para cada amostra.

Tabela 9 - Composição química dos sedimentos da zona costeira do Estado do Amapá, incluindo os elementos maiores, C, S e perda ao fogo (LOI).

AMOSTRAS		SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	CaO %	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	MnO %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	TOT/C %	TOT/S %	LOI %
QUATERNÁRIO (sedimentos de fundo de rio e lago)	AM 1	66,33	14,07	5,72	0,90	0,65	1,38	1,06	2,23	0,08	0,16	0,52	0,02	7,2
	AM 4	66,81	14,07	4,99	0,89	0,69	1,19	1,20	2,20	0,07	0,13	0,99	0,03	7,6
	AM 6	67,67	12,59	5,04	0,99	0,57	1,01	1,26	2,14	0,08	0,14	2,01	0,03	8,3
	AM 9	62,61	13,70	6,32	0,87	0,45	1,01	1,15	2,13	0,09	0,13	2,98	0,06	11,3
	AM 10	66,76	12,65	5,14	0,80	0,47	0,92	1,28	2,04	0,04	0,10	2,60	0,03	9,6
	AM 14	70,01	11,74	4,30	0,91	0,42	0,76	1,19	1,94	0,06	0,11	2,22	0,03	8,4
	AM 19	69,76	11,87	4,12	0,94	0,42	0,80	1,18	1,98	0,06	0,09	2,39	<0,02	8,6
	AM 20	69,07	13,51	5,38	0,94	0,44	1,06	1,23	2,16	0,05	0,08	0,18	<0,02	5,9
	AM 22	63,77	14,57	6,26	0,91	0,52	1,24	1,04	2,26	0,15	0,12	1,23	<0,02	8,9
	AM 23	65,69	13,48	5,80	0,87	0,54	1,07	1,17	2,21	0,05	0,09	2,04	<0,02	8,8
	AM 34	64,28	12,08	9,55	0,92	0,75	1,24	1,06	1,97	0,12	0,28	0,45	<0,02	7,5
	AM 35	68,18	12,27	5,30	1,00	0,29	0,82	0,87	1,96	0,16	0,13	1,83	<0,02	8,8
	VB01-15 CM	63,07	10,46	5,17	0,61	0,90	1,49	1,29	1,85	0,06	0,11	6,15	0,14	14,8
	PIR-10 CM	58,89	16,70	5,97	0,91	0,53	1,73	1,34	2,55	0,09	0,14	0,85	0,02	10,9
	PIR-210 CM	68,05	13,78	5,00	0,85	0,73	1,41	1,28	2,26	0,08	0,10	0,38	0,02	6,3
	PAR-10 CM	70,46	12,65	4,34	0,99	0,76	1,26	1,45	2,14	0,05	0,12	0,27	<0,02	5,6
	UR-10 CM	68,96	13,77	4,51	0,83	0,67	1,36	1,47	2,42	0,06	0,11	0,31	<0,02	5,6
	UR- 173 CM	69,10	13,19	4,82	0,81	0,77	1,35	1,33	2,20	0,07	0,11	0,39	0,08	6,1
	SUC-6 CM	60,93	11,69	4,46	0,76	3,74	1,34	1,60	1,98	0,08	2,70	2,22	<0,02	10,5
	SUC-54 CM	66,89	14,03	5,12	0,91	0,70	1,29	1,42	2,30	0,05	0,19	0,32	<0,02	6,9
	PT41/42 10-20CM	69,67	13,35	4,54	0,92	0,69	1,23	1,32	2,24	0,06	0,11	0,30	<0,02	5,6
	PT-41/42 160 CM	62,96	15,56	5,76	0,90	0,64	1,66	1,32	2,39	0,09	0,12	0,38	0,04	8,4
	PT-41/42 300 CM	69,25	13,19	4,79	0,88	0,76	1,39	1,30	2,15	0,07	0,11	0,30	<0,02	5,9
MÉDIA	66,36	13,14	5,37	0,88	0,75	1,19	1,24	2,15	0,08	0,26	1,52	0,03	8,38	
Min.	58,89	10,46	4,12	0,61	0,29	0,76	0,87	1,85	0,04	0,08	0,18	0,02	5,60	
Max.	70,46	16,70	9,55	1,00	3,74	1,73	1,60	2,55	0,16	2,70	6,15	0,14	14,80	
dP	3,19	1,34	1,17	0,09	0,72	0,25	0,17	0,17	0,03	0,58	1,43	0,03	2,28	
TERCIÁRIO (sedimentos intemperizados)	T3-A	72,92	11,49	4,07	0,86	0,60	0,91	1,20	1,91	0,03	0,08	0,60	<0,02	5,7
	T3-B	73,09	11,46	4,26	0,85	0,72	1,03	1,28	1,99	0,05	0,08	0,42	<0,02	5,0
	T3-C	70,48	11,17	4,43	0,85	0,70	1,02	1,15	1,89	0,06	0,12	1,63	0,02	7,9
	T4-A	71,31	10,96	4,59	0,81	0,67	1,00	1,14	1,86	0,06	0,12	1,60	0,02	7,3
	T4-B	62,99	16,23	7,52	1,11	<0,01	0,48	0,11	1,45	0,01	0,03	0,60	<0,02	9,9
	T4-C	60,54	17,72	8,15	1,12	<0,01	0,55	0,13	1,67	0,01	0,04	0,38	<0,02	9,9
	T5-A	70,67	12,30	6,92	0,99	<0,01	0,31	0,08	0,93	<0,01	0,02	0,28	<0,02	7,6
	T5-B	94,03	1,90	0,23	1,07	<0,01	0,06	0,02	0,13	<0,01	0,02	0,43	<0,02	2,4
	P1-A	77,69	12,39	3,95	1,34	0,01	0,06	0,03	0,26	0,01	0,03	0,08	<0,02	4,1
	P1-B	76,01	12,54	3,91	1,51	<0,01	0,07	0,04	0,33	0,02	0,04	0,19	<0,02	5,4
	P1-C	57,87	26,82	1,86	1,57	<0,01	0,08	0,03	0,46	0,02	0,06	0,05	<0,02	11,1
	MÉDIA	70,68	13,36	4,64	1,06	0,35	0,70	0,65	1,40	0,04	0,07	0,52	0,02	6,87
	Min.	57,87	1,90	0,23	0,81	0,01	0,06	0,02	0,13	0,01	0,02	0,05	0,02	2,40
	Max.	94,03	26,82	8,15	1,57	0,76	1,66	1,32	2,39	0,09	0,12	1,63	0,04	11,10
dP	8,55	5,11	2,00	0,24	0,34	0,52	0,59	0,78	0,03	0,04	0,47	0,01	2,35	

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando a tabela é possível notar que o teor de C nos sedimentos quaternários ( $1,52 \pm 1,43\%$ ) é mais elevado em relação às amostras do Terciário ( $0,52 \pm 0,47\%$ ), indicando uma maior quantidade de matéria orgânica nos primeiros. Os valores de S para as amostras do Terciário ( $0,03 \pm 0,03\%$ ) e Quaternário ( $0,02 \pm 0,01\%$ ) são relativamente equivalentes. A perda ao fogo apresentou valores médios de  $6,87 \pm 2,35\%$  e de  $8,38 \pm 2,28\%$  para as amostras do Terciário e do Quaternário, respectivamente.

### 6.3.2 Elementos-traço

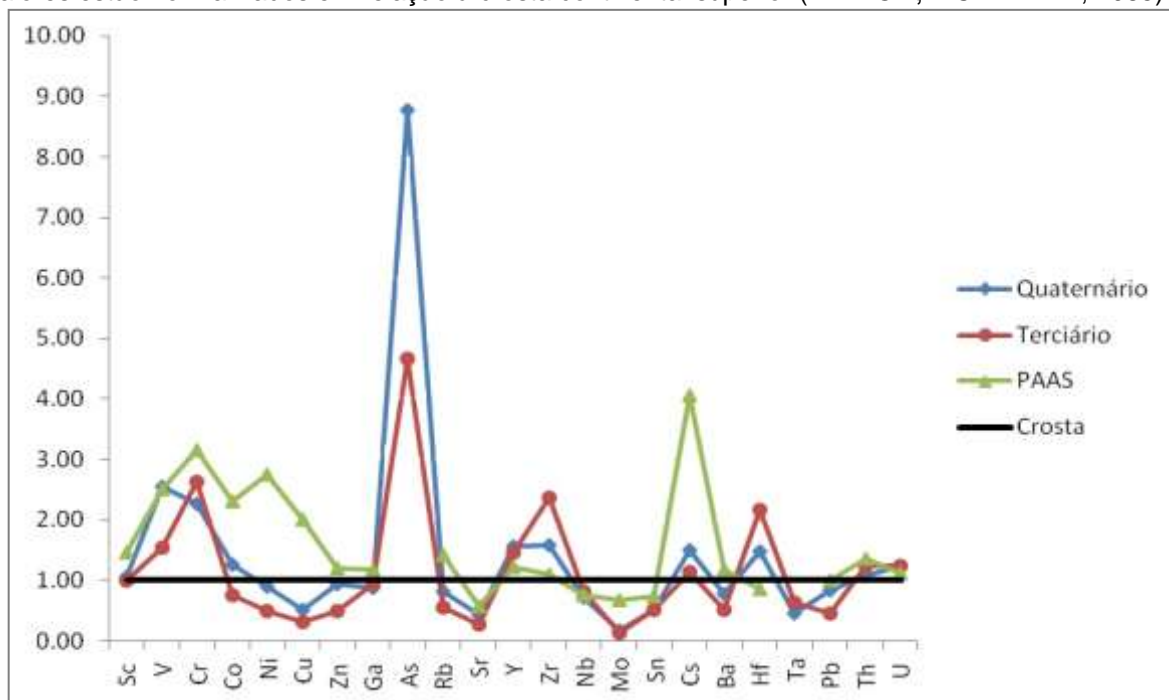
As análises referentes aos elementos-traço mostraram que, em comparação com os valores crustais (TAYLOR; MCLENNAN, 1985), os sedimentos quaternários são enriquecidos em V, Cr, Co, As, Y, Zr, Cs, Hf, Th e U, e empobrecidos em Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Nb, Mo, Sn, Ba, Ta e Pb. Em relação às amostras do Terciário, estas apresentam enriquecimento em V, Cr, As, Y, Zr, Cs, Hf, Au, Th e U, e são empobrecidas em Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Nb, Mo, Sn, Ba, Ta e Pb. Os valores de Sc para ambos os grupos são relativamente compatíveis.

O Gráfico a baixo (Figura 42) mostra uma comparação dos valores médios das concentrações dos elementos-traços com os valores médios de PAAS, ambos normalizados em relação aos valores crustais. Nota-se que quando comparados com as argilas pós-arqueanas os sedimentos estudados, de modo geral, são enriquecidos em As, Y, Zr, Hf e U. Estes elementos ocorrem na crosta continental superior, associados a minerais resistentes, como zircão, hematita e goethita, ou ainda, em relação ao As, à matéria orgânica presentes nestes sedimentos (KRONBERG et. al., 1979; COSTA et. al., 2004 apud BERRÊDO, 2006). Em relação aos demais elementos os sedimentos estudados são empobrecidos em relação ao padrão PAAS, com exceção de V, Ga, Nb, Sn, Pb e Th, que apresentam valores relativamente aproximados.

Os valores médios das concentrações dos elementos-traço nas amostras estudadas estão expostos na Tabela 10, juntamente com a comparação e normalização destes valores com a crosta continental superior (TAYLOR; MCLENNAN, 1985). Observando a tabela é possível notar que os sedimentos quaternários apresentam teores mais elevados de Co (13 ppm), Ni (18 ppm), Cu (13

ppm), Zn (66 ppm), As (13 ppm), Rb (92 ppm), Sr (150 ppm), Y (34 ppm), Ba (430 ppm) e Pb (17 ppm), em relação aos sedimentos terciários: Co (7,54 ppm); Ni (10 ppm); Cu (8 ppm); Zn (35,21 ppm); As (7 ppm); Rb (62,44 ppm); Sr (97,02 ppm); Y (32,11 ppm); Ba (284,21 ppm) e Pb (9,01 ppm). Já as amostras do Terciário apresentam valores elevados de V (92,50 ppm), Cr (92,14 ppm), Zr (449,11 ppm), Nb (20,13 ppm), Hf (12,59 ppm) e Au (3,73 ppb), enquanto que os valores dos sedimentos do Quaternário ficam em: V (89 ppm); Cr (80 ppm); Zr (300 ppm); Nb (18 ppm); Hf (9 ppm) e Au (0,78 ppb).

Figura 42 - Gráfico com a concentração dos elementos-traço presentes nos sedimentos quaternários e terciários em comparação com as argilas pós-arqueanas (TAYLOR; MCLENNAN, 1985). Ambos valores estão normalizados em relação à crosta continental superior (TAYLOR; MCLENNAN, 1985).



Fonte: Elaborado pela autora.

As elevadas concentrações de Au nas amostras do Terciário (3,10-7,60 ppm), merecem atenção especial, pois estes valores estão muito acima da média crustal (1,8 ppb), apontando para a necessidade de estudos mais aprofundados que possam verificar o potencial econômico para exploração de Au nesta região. No entanto, dentro da área de estudo do presente trabalho, no extremo NW, existe um garimpo (P1 – Garimpo do Mineiro), este em atividade até o ano de 2008.

Tabela 10 - Valores médios das concentrações dos elementos-traço para os sedimentos quaternários (A) e terciários (B) em comparação com os valores crustais; comparação dos valores normalizados em relação aos valores crustais (C). Concentração dos elementos expressas em ppm, com exceção do Au que apresenta valores expressos em ppb.

(A)	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Cs	Ba	Hf	Ta	Au	Pb	Th	U
Quaternário	12	89	80	13	18	13	66	15	13	92	150	34	300	18	0,26	3	6	430	9	1	0,78	17	12	3
Crosta <sup>1</sup>	11	60	35	10	20	25	71	17	1,5	112	350	22	190	25	1,5	5,5	3,7	550	5,8	2,2	1,8	20	10,7	2,8
amostra/crosta	1,06	1,49	2,27	1,26	0,9	0,5	0,93	0,88	8,78	0,82	0,43	1,56	1,58	0,72	0,17	0,51	1,50	0,78	1,48	0,45	0,43	0,84	1,08	1,24

(B)	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Cs	Ba	Hf	Ta	Au	Pb	Th	U
Terciário	11	93	92	7,5	10	8,0	35	16	7,0	62	97	32	449	20	0,2	2,8	4,2	284	12	1,4	3,73	9,0	13	3,5
Crosta <sup>1</sup>	11	60	35	10	20	25	71	17	1,5	112	350	22	190	25	1,5	5,5	3,7	550	5,8	2,20	1,8	20	10,7	2,8
amostra/crosta	1	1,54	2,63	0,75	0,50	0,32	0,50	0,95	4,67	0,56	0,28	1,46	2,36	0,81	0,13	0,52	1,14	0,52	2,17	0,64	2,07	0,45	1,24	1,24

(C)	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Cs	Ba	Hf	Ta	Au	Pb	Th	U
Quaternário/ Crosta	1,06	1,49	2,27	1,26	0,9	0,52	0,93	0,88	8,78	0,82	0,43	1,56	1,58	0,72	0,17	0,51	1,50	0,78	1,48	0,45	0,43	0,84	1,08	1,24
Terciário/ Crosta	1	1,54	2,63	0,75	0,50	0,32	0,50	0,95	4,67	0,56	0,28	1,46	2,36	0,81	0,13	0,52	1,14	0,52	2,17	0,64	2,07	0,45	1,24	1,24

<sup>1</sup> Crosta: Composição média da crosta continental superior segundo Taylor e Mclennan (1985);

Fonte: Elaborado pela autora.

Correlações geoquímicas significativas (grau de correlação  $r$  entre parênteses) foram identificadas entre os elementos maiores e traços, notadamente entre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{MgO}$  (0,45) e de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  com Rb (0,97), Zn (0,41), Ba (0,36) e Y com Zr (0,82); outras correlações referem-se ao  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com MnO (0,49), Y (0,50) e Zr (0,52); CaO com  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,98),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,58), Sr (0,99), Zn (0,52) e Pb (0,97);  $\text{MgO}$  com  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,44),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,55), Rb (0,43), Zn (0,68) e Cu (0,77);  $\text{Na}_2\text{O}$  com  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,48), Sr (0,57), Pb (0,48) e  $\text{K}_2\text{O}$  com Rb (0,87) e Zn (0,39).

Assim como o K, o Rb tende a ser incorporado (adsorvido) às argilas durante o intemperismo químico, em contraste com Ca bivalente e Sr, que juntamente com o Na, tendem a ser lixiviados (CAMIRE et. al., 1993). Tanto as amostras do Terciário quanto as amostras do Quaternário apresentam valores empobrecidos em Na e Ca em relação a crosta, como também de Sr em relação ao PAAS, o que sugere a atuação de fortes processos intempéricos na fonte destes sedimentos.

As concentrações dos elementos-traço obtidas das análises dos sedimentos podem ser visualizadas por completo na Tabela 11, juntamente com a média dos valores para as amostras do Quaternário e do Terciário.

Tabela 11 - Concentração dos elementos-traço nos sedimentos estudados; valores em ppm, com exceção do Au (valores em ppb).

AMOSTRAS	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se	Rb	Sr	Sc	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Cs	Ba	Th	U	Hf	Ta	W	Au	Hg	Pb	
AM 1	93	80	13,6	20,6	14,9	70	16,3	13,1	0,5	98,1	137,6	13	34,0	276,9	17,7	0,3	3	5,9	431	12,8	3,5	7,6	1,3	2,1		0,04	15,4	
AM 4	83	80	12,2	19,2	11,8	70	15,9	5,5	<0,5	96,1	147,5	13	32,8	267,3	17,4	0,2	3	6,0	437	11,1	3,2	7,6	1,2	2,2		0,02	10,0	
AM 6	73	80	11,5	16,2	8,3	62	13,5	9,3	<0,5	87,6	130,8	12	33,8	271,6	19,7	0,2	3	5,0	453	10,7	3,3	7,7	1,6	2,0	0,9	0,05	8,9	
AM 9	102	80	12,4	16,4	10,2	64	16,4	15,1	<0,5	98,8	132,8	12	32,5	238,4	18,1	0,3	3	6,1	472	10,1	3,2	7,0	1,4	2,1		0,05	11,7	
AM 10	91	70	9,4	13,5	8,9	58	14,2	13,2	<0,5	87,0	129,6	10	28,4	214,8	16,7	0,2	3	5,1	457	9,6	2,8	6,3	1,2	2,2		0,06	9,7	
AM 14	82	70	8,4	11,4	8,6	46	13,3	15,6	0,6	85,5	124,3	10	33,3	291,7	19,3	0,2	3	4,8	443	9,8	3,6	8,2	1,5	1,9		0,06	7,9	
AM 19	84	70	9,2	12,9	8,5	47	13,1	8,5	<0,5	82,3	116,6	11	36,8	296,5	20,1	0,2	2	4,9	454	10,7	3,4	8,3	1,5	2,0		0,05	8,9	
AM 20	98	80	13,6	17,9	8,4	62	15,7	5,2	<0,5	92,4	128,2	12	36,9	271,2	19,4	0,2	3	5,4	447	11,5	3,3	7,8	1,2	2,0		0,02	9,6	
AM 22	107	90	19,2	24,0	18,9	86	16,9	11,4	<0,5	107,8	145,1	13	36,1	252,9	18,9	0,4	3	6,9	494	12,8	3,7	7,3	1,3	1,9	0,7	0,11	16,2	
AM 23	92	80	14,7	17,2	11,6	78	16,1	5,6	<0,5	96,4	144,5	12	31,0	245,6	18,7	0,2	3	5,8	497	11,7	3,1	6,6	1,2	2,3	0,6	0,10	10,1	
AM 34	93	80	12,8	16,8	10,3	57	13,2	79,6	<0,5	83,3	150,9	11	45,3	623,2	18,9	0,5	2	5,0	386	14,1	4,3	17,7	1,2	2,0		0,02	12,0	
AM 35	90	80	13,2	12,6	9,1	54	15,1	16,3	<0,5	87,4	101,3	11	38,0	323,3	21,4	0,3	3	5,3	451	12,3	3,7	9,2	1,5	2,2		0,06	10,7	
VB01-15CM	70	70	15,7	25,9	26,6	74	11,7	14,6	0,6	76,9	152,3	9	30,3	230,5	12,2	0,3	2	4,3	352	11,3	4,6	6,1	0,9	1,2		0,10	11,7	
PIR-10 CM	115	100	14,2	22,9	19,8	83	20,0	8,2	<0,5	117,3	138,0	15	35,4	223,7	18,3	0,4	3	8,0	421	13,8	3,8	6,7	1,3	2,0	0,6	0,03	18,9	
PIR-210 CM	93	80	12,9	21,6	13,7	71	16,3	5,4	<0,5	96,7	148,2	12	32,9	286,8	17,2	0,3	3	6,0	425	11,0	3,2	8,1	1,3	1,9	0,7	0,03	12,4	
PAR-10 CM	83	90	10,7	17,8	11,7	57	13,1	6,3	<0,5	87,5	146,3	11	42,0	463,2	18,9	0,2	3	5,1	377	12,6	4,0	13,5	1,5	2,0	1,2	0,03	10,9	
UR-10 CM	83	70	11,6	19,1	12,0	60	14,8	6,3	<0,5	94,0	138,0	12	31,4	270,8	16,1	0,1	3	5,3	416	10,7	3,1	7,6	1,2	1,9		0,02	9,1	
UR- 173 CM	83	80	12,8	21,1	14,5	68	14,0	10,7	0,6	89,8	146,0	12	30,6	318,7	16,4	0,2	2	5,1	389	11,2	3,2	9,1	1,1	1,6		0,03	11,7	
SUC-6 CM	79	70	12,3	19,1	16,4	90	13,1	6,5	<0,5	83,4	397,6	10	30,5	290,5	16,2	0,2	3	4,8	382	10,0	3,1	8,9	1,1	1,5		0,04	116,8	
SUC-54 CM	95	90	11,5	20,3	13,9	68	16,0	7,1	<0,5	98,9	148,1	12	36,4	350,2	19,0	0,3	3	6,3	415	12,3	3,5	10,5	1,3	1,9		0,03	12,5	
PT-41/42	89	90	11,8	21,1	12,3	67	15,0	6,6	<0,5	93,4	146,8	12	36,5	367,2	18,5	0,2	3	5,3	417	12,0	3,6	10,4	1,3	1,9		0,03	11,1	
PT-41/42	108	100	14,6	21,1	17,3	78	18,0	11,4	<0,5	108,9	156,5	14	36,4	284,2	19,0	0,3	3	7,1	430	14,2	3,8	8,4	1,4	2,1		0,04	16,1	
PT-41/42	91	80	13,4	18,6	12,1	66	15,5	7,8	<0,5	93,3	157,3	11	35,1	353,3	18,2	0,2	3	5,3	419	11,8	3,3	9,9	1,2	1,9		0,03	11,3	
MÉDIA	89	80	13	18	13	66	15	13	1	92	150	12	34	300	18	0,26	3	6	430	12	3	9	1	2	0,78	0,05	17	
T3-A	73	70	10,4	15,4	9,9	48	13,2	5,7	<0,5	77,0	136,5	10	33,2	388,3	17,2	0,3	3	4,4	426	10,9	3,4	11,1	1,2	1,9	1,00	0,03	7,9	
T3-B	73	70	13,5	17,6	10,1	59	12,8	3,6	<0,5	77,8	149,6	10	33,1	380,6	18,1	0,1	2	4,4	420	10,7	3,2	10,5	1,2	1,8		0,03	7,7	
T3-C	74	80	12,3	18,4	14,2	61	12,1	8,4	<0,5	78,3	134,0	10	34,1	365,3	17,4	0,1	2	4,1	379	11,5	3,4	10,4	1,3	1,8		0,04	10,2	
T4-A	71	70	11,3	17,6	13,8	61	12,2	7,9	<0,5	75,5	132,3	10	33,0	350,9	16,4	0,2	2	3,8	381	10,4	3,2	10,6	1,2	1,5		0,04	10,3	
T4-B	120	110	3,5	4,7	8,1	17	20,0	10,9	1,0	81,8	49,5	15	31,2	366,3	22,5	0,2	3	7,3	247	15,3	3,9	10,6	1,7	2,4		0,04	12,0	
T4-C	130	120	3,7	6,0	10,5	23	20,4	15,9	0,8	89,2	54,9	15	32,3	332,2	23,0	0,2	4	7,8	285	17,0	4,1	9,8	1,6	2,4		0,03	15,3	
T5-A	91	90	3,0	1,9	1,1	7	15,3	5,6	1,0	51,4	35,4	10	26,5	412,2	20,5	<0,1	3	5,3	173	11,4	3,4	11,6	1,4	2,1		0,08	8,1	
T5-B	18	30	0,7	0,5	<0,1	1	2,6	<0,5	<0,5	7,1	14,6	3	39,5	687,0	22,3	<0,1	2	0,9	38	6,8	3,9	20,0	1,6	1,7		0,01	1,9	
P1-A	116	120	1,9	0,4	0,4	2	20,7	4,1	<0,5	11,4	33,2	11	29,8	775,6	24,2	0,3	3	1,1	81	17,9	3,6	20,6	1,6	2,8	3,20	0,02	3,7	
P1-B	122	120	1,9	0,2	0,9	2	20,2	9,1	<0,5	13,1	37,3	12	34,0	907,0	26,5	0,3	4	1,1	93	17,6	4,1	23,5	1,8	2,9	3,10	0,03	4,3	
P1-C	119	140	3,6	0,1	0,3	<1	27,0	<0,5	<0,5	15,9	120,4	17	14,9	317,5	18,0	<0,1	3	1,4	190	18,2	1,9	8,8	1,2	2,4		7,60	0,03	6,2
MÉDIA	93	92	8	10	8	35	16	7	1	62	97	11	32	449	20	0,19	3	4	284	13	3	13	1	2	3,73	0,03	9	

Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.3.3 Elementos Terras Raras

De acordo com os Elementos Terras Rara (ETR), os valores normalizados em relação à composição média dos meteoritos condritos (TAYLOR; MCLENNAN, 1985), mostram que os sedimentos terciários e quaternários, quando comparados ao PAAS e aos sedimentos da Formação Barreiras de outras regiões da Amazônia (Tabela 12), são empobrecidos nos elementos terras raras leves (ETRL) e enriquecidos nos elementos terras raras pesados (ETRP), demonstrando uma origem comum para estes sedimentos, porém as intensidades com que os processos intempéricos atuaram se deram de modo diferente para cada unidade considerada, ocasionando este fracionamento distinto. Em comparação com a composição da crosta continental superior, estes sedimentos são enriquecidos tanto nos ETRL quanto nos ETRP, devido às elevadas condições intempéricas do clima tropical, que tende a lixiviar estes elementos das rochas da crosta, sendo posteriormente concentrados nos sedimentos (Figura 43).

Tabela 12 - Concentração dos elementos terras raras nos sedimentos da zona costeira do Estado do Amapá (valores em ppm), em comparação com os valores médios da crosta continental superior, da Formação Barreiras e das argilas pós-arqueanas. Valores normalizados em relação à concentração média nos meteoritos condritos

amostra/ condrito	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
<b>Quaternário</b>	93,5	79,7	60,9	45,9	27,3	14,2	18,7	16,7	15,5	13,2	14,0	16,8	14,1	13,5
<b>Terciário (F.Barreiras?)</b>	101,3	79,7	54,8	38,5	21,4	10,1	15,3	14,7	14,3	12,7	13,9	17,1	14,8	14,3
<b>Crosta Contin. (1)</b>	81,1	66,7	50,7	36,6	19,6	9,8	12,3	10,7	9,2	8,9	9,2	10,3	8,8	8,0
<b>Barreiras Marapan. (2)</b>	135,4	89,9	67,1	50,9	31,1	17,9	18,4	16,0	14,3	11,7	12,4	14,1	12,08	11,3
<b>Barreiras AM (3)</b>	206,8	151,4	104,4	59,0	25,1	11,4	13,8	9,3	7,9	6,4	6,8	8,1	7,36	7,0
<b>Barreiras AP (4)</b>	159,7	93,2	61,5	42,7	23,2	11,4	13,0	10,5	10,1	8,4	9,7	13,1	11,04	10,8
<b>PAAS (5)</b>	102,7	83,3	63,8	45,1	24,6	12,2	15,2	12,8	11,6	11,1	11,6	12,5	11,20	10,8

(1) Taylor e McLennan (1985);

(2) Formação Barreiras de Marapanim: Berrêdo et. al. (2006);

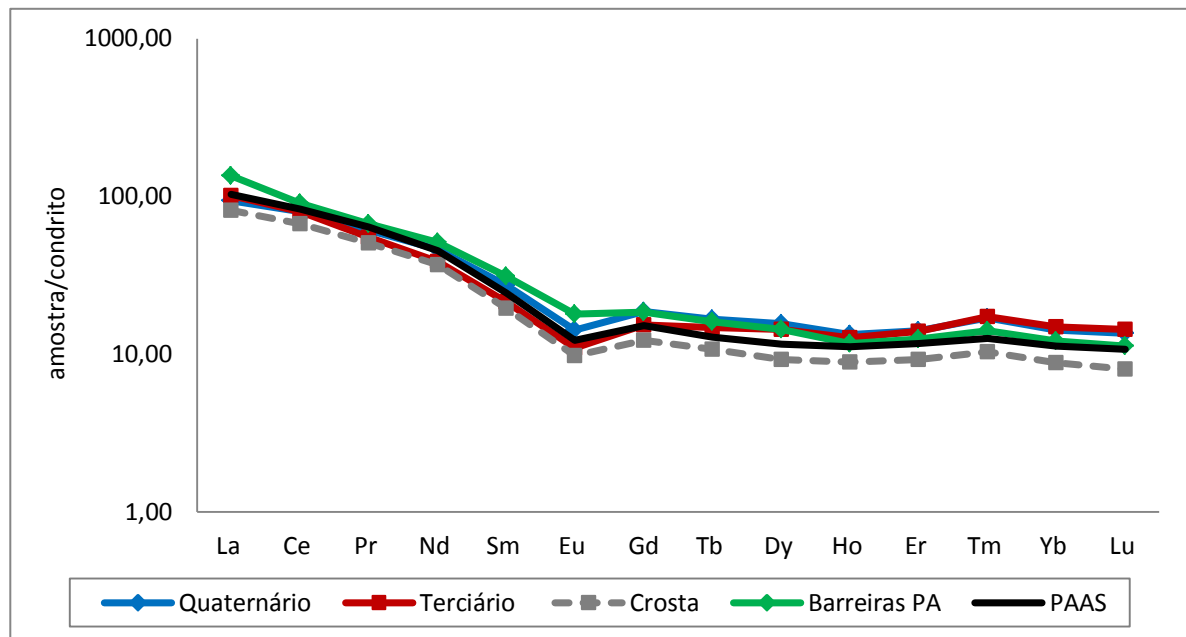
(3) Formação Barreiras do Amazonas: Costa et. al. (2004);

(4) Formação Barreiras do Amapá: Vital et. al. (1999);

(5) Argilas australianas pós-arqueanas (TAYLOR ; MCLENNAN, 1985).

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 43 - Comparação das concentrações dos ETR nos sedimentos quaternários e terciários da costa amapaense, com a concentração destes na crosta continental, nas argilas pós-arqueanas (PAAS) e nos sedimentos da Formação Barreiras.



Formação Barreiras: BERRÊDO et. al. (2008).

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando o gráfico acima, ainda é possível observar que os teores de ETR normalizados pelos condritos, exibem semelhantes e uniformes padrões de fracionamento e também a característica anomalia negativa de Eu, sugerindo a origem comum destes sedimentos a partir das rochas da crosta continental superior. Esta anomalia negativa do Eu (0,6) é normalmente interpretada como herdada de rochas ígneas félsicas (MCLENNAN ; TAYLOR, 1991). O baixo fracionamento do ETRL e ETRP está diretamente relacionado aos valores pouco acentuados de (La/Lu)<sub>N</sub> (7,11; 6,93) e (Ce/Yb)<sub>N</sub> (5,39; 5,65). No entanto, dentre os ETRL, as razões (La/Sm)<sub>N</sub> (4,75; 3,42), demonstram que existe um fracionamento mais acentuado destes em relação aos ETRP, o que é corroborado pelas baixas razões de (Gd/Yb)<sub>N</sub> (1,03; 1,32). Valores entre parênteses referentes às amostras do Terciário e Quaternário, respectivamente.

Os valores obtidos nas análises químicas para os ETR estão expostos na Tabela 13, abaixo, juntamente com a média das concentrações de cada elemento para as unidades em questão.

Tabela 13 - Concentração dos elementos terras raras nos sedimentos terciários e quaternários. Valores em ppm.

AMOSTRAS	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
AM 1	36,6	80,1	9,07	32,5	6,41	1,38	6,04	1,03	6,23	1,23	3,59	0,55	3,68	0,51
AM 4	33,7	72,4	8,28	31,1	5,88	1,19	5,35	0,91	5,56	1,1	3,2	0,51	3,38	0,49
AM 6	31,8	68,7	7,69	28	5,61	1,2	5,34	0,98	5,91	1,16	3,71	0,55	3,58	0,53
AM 9	32,4	72,4	8,11	31,2	5,71	1,18	5,13	0,91	5,19	1,08	3,3	0,5	3,16	0,5
AM 10	28,2	61,1	6,94	27,1	4,86	1,04	4,45	0,8	4,77	1,01	2,93	0,45	2,94	0,45
AM 14	31	66,7	7,59	29,5	5,45	1,13	5,19	0,93	5,57	1,15	3,38	0,53	3,39	0,52
AM 19	34,1	74,4	8,27	31,4	5,97	1,25	5,58	0,99	6,11	1,25	3,65	0,57	3,56	0,55
AM 20	32,5	70,9	8,05	29,8	5,98	1,18	5,5	1	6,15	1,21	3,58	0,55	3,6	0,55
AM 22	37,6	84,2	9,39	36,5	6,83	1,45	6,16	1,05	6,08	1,2	3,46	0,55	3,5	0,52
AM 23	32	69,4	8,02	31,3	5,74	1,2	5,13	0,87	5,14	1,06	3,05	0,47	3,03	0,49
AM 34	41,3	92,1	10,2	39,2	7,61	1,43	7,07	1,23	7,25	1,48	4,44	0,69	4,75	0,73
AM 35	35,2	79,7	8,63	32,9	6,26	1,25	6,02	1,05	6,44	1,3	3,87	0,58	3,97	0,58
VB01-15 CM	33	81,6	8,87	37,2	7,54	1,59	6,91	1,08	6,18	1,16	3,24	0,46	3,27	0,49
PIR-10 CM	40,8	90,8	10,12	40	7,35	1,43	6,27	1,06	6,15	1,27	3,54	0,54	3,5	0,54
PIR-210 CM	34,2	73,9	8,44	31,1	6,24	1,28	5,73	0,98	5,43	1,1	3,21	0,52	3,21	0,49
PAR-10 CM	37,9	82,5	9,29	35,8	6,86	1,34	6,31	1,12	6,98	1,41	4,31	0,64	4,27	0,66
UR-10 CM	34,1	74,3	8,07	31,2	6,17	1,2	5,71	0,97	5,72	1,12	3,47	0,51	3,42	0,53
UR- 173 CM	35,7	79,3	8,48	32	6,46	1,29	5,81	0,97	5,66	1,15	3,33	0,51	3,36	0,52
SUC-6 CM	31,7	70	7,75	29	5,83	1,16	5,52	0,92	5,29	1,06	3,05	0,48	3,27	0,49
SUC-54 CM	38,1	85,9	9,36	35,8	6,75	1,33	6,34	1,06	6,42	1,3	3,84	0,57	3,84	0,58
<b>MÉDIA</b>	<b>34,6</b>	<b>76,52</b>	<b>8,53</b>	<b>32,6</b>	<b>6,27</b>	<b>1,27</b>	<b>5,77</b>	<b>0,99</b>	<b>5,91</b>	<b>1,19</b>	<b>3,51</b>	<b>0,54</b>	<b>3,53</b>	<b>0,53</b>
T3-A	34,6	75,8	8,2	32,6	5,95	1,23	5,69	0,98	5,95	1,22	3,64	0,55	3,71	0,55
T3-B	32,8	73,4	8,12	31,5	6,07	1,19	5,87	0,99	5,72	1,23	3,58	0,54	3,61	0,58
T3-C	33,6	75,8	8,16	32,1	6,34	1,27	6,04	1,04	6,07	1,29	3,8	0,55	3,83	0,58
T4-A	32,6	73,3	8,13	31,5	6,15	1,24	5,8	0,99	5,93	1,18	3,46	0,54	3,53	0,54
T4-B	33,7	68,7	7,03	26	4,39	0,87	4,34	0,82	5,16	1,14	3,43	0,55	3,61	0,57
T4-C	40,5	80,5	8,31	29,9	5,06	0,97	4,84	0,88	5,53	1,18	3,54	0,56	3,82	0,57
T5-A	21,2	42,9	4,46	16,1	2,99	0,56	3,18	0,65	4,31	0,97	3,03	0,48	3,39	0,52
T5-B	17	37,6	3,88	15,1	3	0,57	4,19	0,93	6,39	1,43	4,51	0,71	4,99	0,77
P1-A	23,2	42,5	4,02	13,5	2,12	0,48	2,5	0,64	4,32	0,92	3,2	0,55	3,62	0,61
P1-B	25,3	46,4	4,42	15,4	2,49	0,58	2,97	0,72	5,04	1,15	3,59	0,61	4,26	0,68
P1-C	117,9	208,7	15,21	37,5	4,33	0,84	2,78	0,46	2,57	0,54	1,75	0,3	2,29	0,37
T3-A	37,1	82,1	9,05	33,7	6,56	1,29	5,96	1,07	6,52	1,28	3,88	0,6	3,86	0,57
T3-B	39,8	86,6	9,81	35,9	7,08	1,43	6,36	1,09	6,22	1,25	3,73	0,56	3,64	0,57
T3-C	35,6	77,5	8,63	32,1	6,27	1,26	5,66	1,02	6,22	1,21	3,69	0,55	3,69	0,56
<b>MÉDIA</b>	<b>37,49</b>	<b>76,56</b>	<b>7,67</b>	<b>27,35</b>	<b>4,91</b>	<b>0,98</b>	<b>4,72</b>	<b>0,88</b>	<b>5,42</b>	<b>1,14</b>	<b>3,49</b>	<b>0,55</b>	<b>3,70</b>	<b>0,57</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 6.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE PROVENIÊNCIA

De acordo com os dados expostos (quantitativos e descritivos) a respeito dos minerais pesados, nota-se que a distribuição destes na área de estudo é controlada por dois fatores principais: 1) mecanismos de transporte e seleção dos grãos no ambiente deposicional; e 2) composição da área-fonte.

Baseando-se neste contexto, foram identificadas três assembleias principais de minerais pesados nos sedimentos analisados: assembleia A (hornblenda-epidoto-hiperstênio); assembleia B (epidoto-zircão-hornblenda); e assembleia C (zircão-epidoto-turmalina).

A **assembleia A**, referente à região da foz do rio Araguari, é rica em minerais pesados instáveis (hornblendas e piroxênios) e apresenta maior quantidade de minerais pesados transparentes (79%) em relação a opacos (21%). Em torno de 46% dos minerais transparentes são representados por hornblenda, hiperstênio e diopsídio. Epidoto e granada, minerais moderadamente instáveis, perfazem 44% deste total. Os 10% restantes são constituídos por zircão, turmalina, silimanita, andaluzita, rutilo, estaurolita, cianita e apatita.

A **assembleia B** representa as amostras de sedimentos da região dos lagos, na porção central da área de estudo, e é caracterizada pelo relativo equilíbrio entre minerais pesados ultraestáveis e instáveis. Esta assembleia é dominada por minerais moderadamente estáveis (46%), representados por epidoto e granada. Os minerais ultraestáveis zircão, turmalina, rutilo e estaurolita, apresentam proporção média de 27%. Em seguida aparecem os minerais instáveis hornblenda, hiperstênio e diopsídio, com teor aproximado de 24%. Cianita, silimanita e andaluzita constituem 3% do total destes minerais. As proporções de minerais pesados opacos (54%) e transparentes (46%) são equivalentes nestas amostras.

A **assembleia C** é caracterizada pela abundância (57%) de minerais ultraestáveis (zircão, turmalina, rutilo e estaurolita), seguidos por epidoto com 32%. Os minerais instáveis (hornblenda e piroxênios) apresentam teor muito baixo, em torno de 7%. O conteúdo de minerais opacos aumenta significativamente nestes sedimentos, referentes às amostras da Formação Barreiras, no NW da área de estudo, com valor médio de 75%; os minerais pesados transparentes constituem os 25% restantes.

Nota-se que as relações entre minerais pesados ultraestáveis e instáveis e a razão entre minerais transparentes e opacos foram a base para o reconhecimento das três assembleias em questão, as quais estão relacionadas principalmente a rochas ígneas máficas e ultramáficas e metamórficas de médio a alto grau, não se descartando, porém, a contribuição de rochas ígneas félsicas e rochas sedimentares.

A assembleia A (hornblenda-epidoto-hiperstênio-diopsídio-granada) é compatível com a mineralogia dos sedimentos síltico-arenosos dos Canais Norte e Sul do Rio Amazonas, de acordo com Torres (1997). Segundo este autor, a predominância de hornblenda se deve ao fato desta possuir bons traços de clivagem, o que possibilita a produção de grãos de tamanho muito pequeno. Landim et. al. (1983) demonstraram que os sedimentos de fundo do alto Amazonas (Bacia do Solimões), são dominados por minerais pesados instáveis, refletindo origem puramente Andina.

A assembleia B (epidoto-zircão-hornblenda-turmalina) é marcada pelo aumento na concentração de minerais ultraestáveis e diminuição no teor de instáveis. Esta mudança pode indicar atuação de agentes intempéricos na região, bem como mudanças nas condições hidráulicas durante a deposição, como o conteúdo de minerais instáveis ainda é significativo (24%), a segunda hipótese é a mais provável.

O conteúdo mineralógico da assembleia C (zircão-epidoto-turmalina-estauroлита-hornblenda) é dominado por minerais ultraestáveis e indica drástica mudança nas condições ambientais, sugerindo que estes sedimentos passaram por intenso intemperismo, além de retrabalhamento. Landim et. al. (1983) observaram que na região do Baixo Amazonas ocorre um incremento significativo no conteúdo de minerais ultraestáveis e estáveis, devido aos efeitos do intemperismo tropical e também à admissão de sedimentos erodidos dos Escudos Pré-cambrianos e das formações sedimentares da Bacia do Amazonas.

Portanto, pode-se considerar, de acordo com as assembleias de minerais pesados, que os sedimentos estudados estão sendo influenciados por, no mínimo, duas áreas-fonte principais: 1) Cadeia Andina-Bacia do Solimões, representada pela dominância de minerais pesados instáveis, como também minerais ultraestáveis (assembleias A e B); e 2) Escudos Pré-cambrianos e Bacia do Amazonas,

caracterizados respectivamente por rochas cristalinas do embasamento (ígneas e metamórficas de médio a alto grau) e sequência de rochas sedimentares, com basaltos associados, distinguidos principalmente pela ocorrência de hiperstênio, granada, hornblenda basáltica, como também, pela presença de grãos arredondados de minerais ultraestáveis (zircão e turmalina). Influências de áreas-fonte secundárias não são, porém, descartadas.

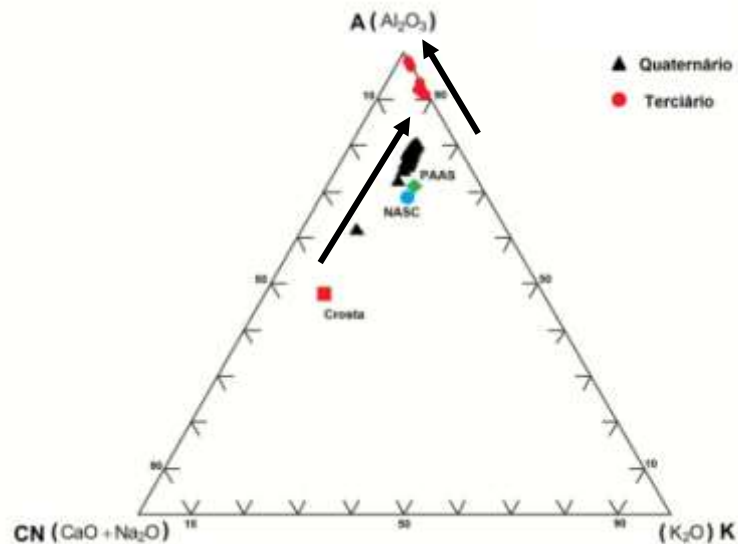
A assembleia de minerais pesados encontrada no Rio Solimões é caracterizada por hornblenda, augita, epidotos e hiperstênio, com certa quantidade de hornblenda basáltica e granada (STEIN, 1979 apud TORRES, 1997). Nesta área o Solimões transporta para a montante do Amazonas material derivado essencialmente dos Andes. O Rio Amazonas e seus afluentes drenam áreas de rochas ígneas e metamórficas dos Escudos Pré-cambrianos e também formações sedimentares de idade paleozóica a cretácea da Bacia do Amazonas. Os sedimentos carregados são transportados até a foz de onde migram para NW, devido influência da Corrente das Guianas, a qual é responsável pela dispersão destes sedimentos desde a zona costeira do Amapá até o litoral da Venezuela.

## 6.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE INTEMPERISMO E COMPOSIÇÃO DA ÁREA-FONTE

O paleointemperismo na área fonte é um dos mais importantes processos que afetam a composição mineralógica de sedimentos. O Índice Químico de Alteração (CIA) é potencialmente útil para revelar o grau de intemperismo químico, através da seguinte equação:  $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100$ ; onde  $CaO^*$  é a quantidade de CaO nos minerais silicáticos somente, utilizando-se a proporção molecular dos óxidos (NESBITT; YOUNG, 1982). A influência do intemperismo aumenta com o aumento dos valores de CIA, ou seja, elevados valores de CIA refletem a remoção dos cátions móveis ( $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ), relativa à concentração dos cátions residuais estáveis ( $Al^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ ) durante o intemperismo.

A plotagem dos valores CIA, mostrando as tendências do intemperismo, é feita no diagrama ternário A-CN-K (Figura 44), onde  $A = Al_2O_3$ ,  $CN = (CaO^* + Na_2O)$  e  $K = K_2O$ . Os valores médios dos padrões NASC e PAAS são também plotados, para efeito de comparação, juntamente com a média dos valores crustais.

Figura 44 - Diagrama A-CN-K com os valores de CIA para os sedimentos terciários e quaternários, mostrando a tendência do intemperismo para cada conjunto de amostras, juntamente com os valores de NASC, PAAS e os valores médios da crosta continental superior.



Fonte: Elaborado pela autora.

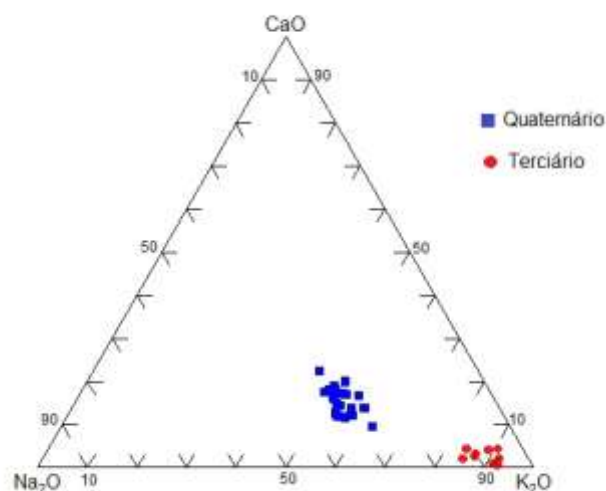
De acordo com o diagrama, as amostras do Quaternário mostram um trend linear paralelo a A-CN, com valores de CIA entre 75-85, indicando que esta composição foi diretamente afetada por condições intempéricas intermediárias a extremas, ocasionando a degradação dos plagioclásios e aumento no domínio dos argilominerais (esmectita e caulinita), o que é corroborado pelas relações comparáveis com os padrões NASC e PAAS, assim como demonstrado para as relações  $K_2O/Na_2O$  vs  $SiO_2/Al_2O_3$  (Figura 40). As amostras do Terciário, no entanto, apresentam comportamento inverso, com *trend* linear paralelo a A-K, demonstrando que estes sedimentos possuem elevados valores de CIA ( $> 90$ ), o que indica condições extremas de intemperismo, em clima tropical. De acordo com Torres (1997), este mesmo comportamento é também observável para os valores de CIA dos sedimentos de fundo dos rios Tapajós e Pará e para os sedimentos da Formação Monte Alegre da Bacia do Amazonas, sendo estes tipicamente derivados dos Escudos Pré-cambrianos. Em comparação com o valor médio da crosta continental, de modo geral, as amostras estudadas apresentam valores de CIA muito acima dos valores crustais, devido às elevadas condições intempéricas do clima tropical, que tendem a lixiviar Ca e Na, e em contrapartida, concentrar Al e K nos perfis intempéricos e sedimentos.

Os valores de CIA demonstram que a intensidade do intemperismo nos sedimentos quaternários do Amapá é mais acentuada do que nos sedimentos terciários, sedimentos fanerozóicos da Bacia do Amazonas e nos Escudos Pré-cambrianos. Isto indica que estes sedimentos são principalmente derivados dos Andes, onde os sedimentos são relativamente menos alterados e composicionalmente imaturos (LANDIM et. al., 1983). Esta afirmação é concordante com as assembleias de minerais pesados, as quais mostram predominância de minerais instáveis (hornblendas + piroxênios), nas amostras do Quaternário, em contraste com os sedimentos do Terciário (Formação Barreiras) que são caracterizados por predominância de minerais ultraestáveis (zircão + turmalina).

O intemperismo químico pode ser considerado o fator dominante no controle da composição mineralógica dos sedimentos analisados. A maior parte dos componentes mineralógicos totais é representada por quartzo e esmectita, sugerindo a contribuição de áreas-fontes distintas. Os altos valores de CIA para as amostras são melhores interpretados como o resultado de intenso intemperismo químico nas rochas-fonte, o que é consistente com as elevadas razões de Th/U, tanto para os sedimentos terciários (3,7) quanto para os quaternários (4,0).

A proveniência dos sedimentos estudados pode ser ainda representada pelo diagrama ternário CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O (BHATIA, 1983), o qual fornece informações a respeito da composição mineralógica das rochas-fonte (Figura 45).

Figura 45 - Diagrama ternário CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O para as amostras do Terciário e Quaternário.



Fonte: Elaborado pela autora.

De modo geral, as amostras possuem composição próxima da junção  $K_2O$ , sendo esta provavelmente, o resultado da diminuição no conteúdo dos plagioclásios e aumento na concentração dos argilominerais. Os sedimentos quaternários são caracterizados por baixo  $K_2O$  e mais elevado  $CaO$  e  $Na_2O$ , devido ao maior teor de plagioclásio nestes sedimentos, em comparação com as amostras do Terciário. Assim, os padrões de distribuição dos sedimentos estudados, no diagrama, indicam que estes têm uma fonte de composição granítica-granodiorítica, característica de margem continental passiva. As implicações para uma fonte de composição similar são as mesmas para os sedimentos terciários, apesar da distinta abundância de  $K_2O$  indicar uma fonte peculiar, no entanto, estas altas concentrações estão mais associadas a intenso intemperismo na área-fonte.

As razões entre os elementos incompatíveis e compatíveis ( $Th/Sc$ ,  $La/Sc$ ,  $Th/Co$ ,  $La/Co$ ,  $Zr/Sc$  e  $Ba/Co$ ) em sedimentos e rochas sedimentares podem ser mais representativas da composição da área-fonte do que a concentração dos elementos maiores. Dentre este,  $Th$  é o elemento mais incompatível e  $Sc$  é o elemento mais compatível, portanto, a razão entre estes elementos pode ser considerada como o indicador mais sensível em estudos de proveniência (TAYLOR ; MACLENNAN, 1985; MACLENNAN ; TAYLOR, 1991). Nos sedimentos terciários e quaternários existem razões enriquecidas de  $Th/Co$ ,  $La/Sc$ ,  $La/Co$ ,  $Zr/Sc$  e  $Ba/Co$  em comparação com o padrão PAAS, e menos enriquecidas em  $Th/Sc$  e  $La/Th$ , sugerindo que estes sedimentos são derivados predominantemente de rochas ígneas félsicas, de composição granítica, já evidenciada pela anomalia negativa de  $Eu$ . O valor fortemente enriquecido das razões  $Zr/Sc$  e  $Th/Co$  para as amostras do Terciário, reflete a abundância de zircão nestes sedimentos (Tabela 14).

Nos diagramas ternários  $La-Th-Sc$  e  $Th-Hf-Co$  (Figura 46), as amostras do Quaternário e do Terciário plotam no campo de sedimentos derivados a partir de uma fonte enriquecida em rochas graníticas. As amostras do Quaternário apresentam depleção em  $La$ ,  $Th$ ,  $Sc$  e  $Hf$ , e o conteúdo mais elevado de  $Co$  pode ser atribuído as maiores proporções de minerais ferromagnesianos (hornblendas e piroxênios), nestes sedimentos, provavelmente derivados da Cordilheira dos Andes. As amostras do Terciário, no entanto, possuem composição mais enriquecida em  $La$ ,  $Th$ ,  $Hf$  e também  $Zr$ , indicando abundância de minerais resistatos (zircão, ilmenita, anatásio), como também derivação a partir de fontes mais félsicas dos

Escudos Pré-cambrianos e sedimentos retrabalhados da Bacia Sedimentar do Amazonas, misturados em diversas proporções.

Tabela 14 - Razões entre os elementos-traço e ETR nas amostras do Terciário e Quaternário, em comparação com PAAS e Formação Barreiras de Marapanim (PA).

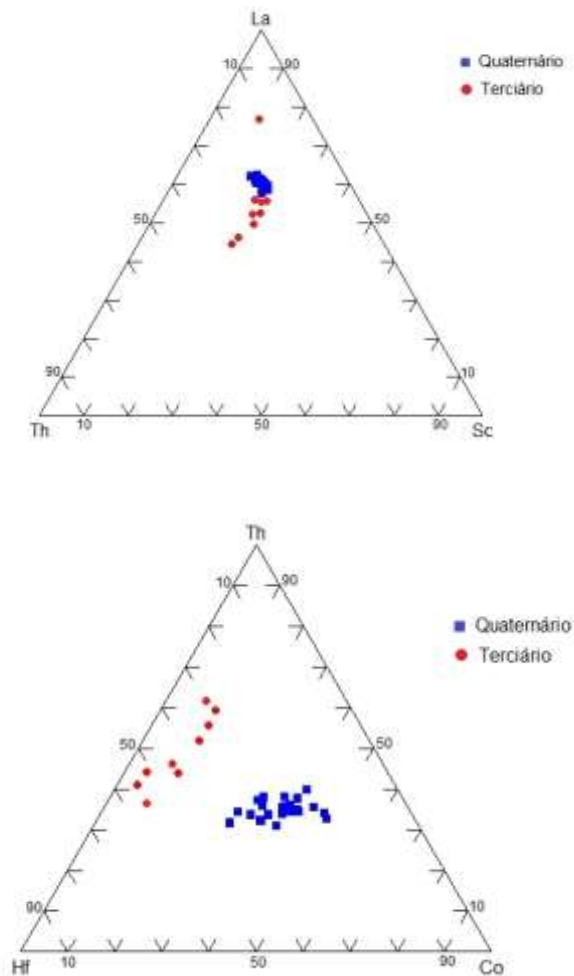
RAZÕES	Terciário	Quaternário	Barreiras (1)	PAAS (2)
Th/Sc	1,09	1,00	0,94	0,90
Th/Co	1,73	0,92	1,73	0,60
La/Th	2,88	2,88	6,26	2,60
La/Sc	3,41	2,88	3,41	2,40
La/Co	5,00	2,66	6,26	1,70
Zr/Sc	40,81	25,00	21,96	13,1
Ba/Co	37,86	33,07	29,85	28,30
Eu/Eu*	0,59	0,61	0,72	0,61

(1) Formação Barreiras de Marapanim (BERRÉDO et. al., 2008);

(2) Argilas australianas pós-arqueanas (TAYLOR ; MCLENNAN, 1985).

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 46 - Diagramas ternários La-Th-Sc e Th-Hf-Co para as amostras do Terciário e Quaternário, demonstrando a influencia de áreas-fonte de composição distinta.



Fonte: Elaborado pela autora.

## 7 CONCLUSÕES

Os sedimentos terciários e quaternários da região situada entre a foz do Rio Araguari e os Cinturões Lacustres compreendem areias, areias siltosas, siltes e siltes arenosos. Mineralogicamente são compostos por quartzo (56%), muscovita (18%), albita (6%), k-feldspatos (traços) e argilominerais, além de óxidos e hidróxidos de ferro e minerais pesados transparentes e opacos.

Os argilominerais são compostos por esmectita (53%), caulinita (33%) e illita (14%), além de clorita em quantidades traço. A distribuição dos argilominerais é uniforme por toda a extensão da área de estudo, variando apenas o conteúdo destes em comparação com os minerais totais nos sedimentos areno-siltosos do Terciário e siltico-arenosos do Quaternário, estes últimos sendo mais enriquecidos na fração argila (12%) e, por conseguinte, nos argilominerais também.

A melhor distribuição dos minerais pesados transparentes encontra-se na fração areia muito fina (0,125-0,062mm), sendo identificadas 13 espécies distintas de minerais pesados transparentes, representadas por epidoto (40%), zircão (24%), hornblenda (14%), turmalina (6%), hiperstênio (4%) e diopsídio (3%), estes com ampla distribuição por todas as amostras; e granada, rutilo, estaurolita, cianita, silimanita, andaluzita e apatita, ocorrendo de forma mais restrita e com proporções reduzidas. Os minerais pesados opacos são representados por ilmenita, anatásio e magnetita.

As assembléias dos minerais pesados são representadas por três associações principais: assembleia A (epidoto-hornblenda-hiperstênio-diopsídio-granada), assembleia B (epidoto-zircão-hornblenda-turmalina) e assembleia C (zircão-epidoto-turmalina-estaurolita-hornblenda). As assembleias A e B correspondem aos sedimentos quaternários e indicam influência de área-fonte de composição predominantemente máfica-ultramáfica e também rochas ígneas félsicas e sedimentares, em menor proporção. O conteúdo da assembleia C, referente aos sedimentos terciários, é dominado por minerais ultraestáveis, sendo estes influenciados por área-fonte de composição predominantemente félsicas, como também rochas sedimentares, e ainda rochas máficas de modo secundário.

Portanto, conclui-se que estas assembleias correspondem à mistura de duas áreas-fonte principais. A primeira representada por sedimentos da Cadeia Andina e da Bacia do Solimões, no Alto Amazonas, evidenciada pela ocorrência em grande

número de minerais ferromagnesianos (hornblenda, piroxênio), como também minerais ultraestáveis. A segunda fonte corresponde às rochas magmáticas e metamórficas de médio a alto grau dos Escudos Pré-cambrianos e formações sedimentares da Bacia Paleozóica do Amazonas, distinguidos principalmente pela ocorrência de granada, hornblenda basáltica, hiperstênio, como também grãos arredondados de zircão e turmalina.

Quimicamente, os sedimentos do Terciário e Quaternário são distinguíveis na maioria dos parâmetros considerados. De modo geral, as concentrações de  $\text{SiO}_2$  decrescem e as de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  aumentam das amostras do Terciário para os sedimentos quaternários, devido ao incremento no conteúdo de argilominerais, de muscovita e de minerais ferromagnesianos (p.e., hornblenda e piroxênios). As boas correlações entre  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $r = -0,89$ ) nos sedimentos terciários, e entre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r = 0,93$ ) nos sedimentos quaternários, reflete o domínio do quartzo nos sedimentos mais grossos do Terciário, e o domínio dos argilominerais na composição dos sedimentos pelíticos quaternários.

Os valores de CIA demonstram que, tanto os sedimentos terciários ( $> 90$ ) quanto os quaternários (75-85) foram afetados por condições elevadas de intemperismo, sendo mais acentuadas nas amostras do Quaternário, evidenciadas pelo maior conteúdo de plagioclásio nestes sedimentos. As correlações  $\text{CaO-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$  indicam que os sedimentos estudados são derivados de uma fonte de composição predominantemente granítica-granodiorítica, característica de margem continental passiva, o que é corroborado pelo padrão de fracionamento dos ETR em comparação com os valores crustais, pela anomalia negativa de Eu (0,6) e pelas razões enriquecidas de  $\text{Th/Co}$ ,  $\text{La/Sc}$ ,  $\text{La/Co}$ ,  $\text{Zr/Sc}$  e  $\text{Ba/Co}$ .

Portanto, a depleção em La, Th, Sc e Hf, e o conteúdo mais elevado de Co nos sedimentos quaternários reflete a concentração elevada de minerais ferromagnesianos nestes sedimentos, e a sua derivação a partir das rochas da Cordilheira dos Andes. As amostras do Terciário, no entanto, possuem composição mais enriquecida em La, Th, Hf e também Zr, indicando abundância de minerais resistatos (zircão, ilmenita, anatásio), como também derivação a partir de fontes mais félsicas dos Escudos Pré-cambrianos e sedimentos retrabalhados da Bacia Sedimentar do Amazonas, misturados em diversas proporções.

De acordo com os dados apresentados no decorrer deste trabalho, conclui-se, portanto, que as variações na distribuição dos minerais e elementos químicos entre os sedimentos terciários e quaternários da região compreendida entre a foz do rio Araguari e os Cinturões Lacustres, no Estado do Amapá, estão relacionadas principalmente a diferença no tamanho dos grãos, causada por seleção hidráulica durante o transporte, refletindo mudanças nos parâmetros hidrodinâmicos do ambiente deposicional de cada unidade. Essas variações, também refletem a atuação diferenciada do intemperismo químico, e a influência de áreas-fonte de composição distinta, sendo misturadas em diversos graus devido às condições hidrodinâmicas de gradiente elevado no atual cenário da planície costeira do Estado do Amapá.

Fica claro, ainda, que os sedimentos terciários da planície costeira do Amapá, descritos na literatura como pertencentes à Formação Barreiras, química e mineralogicamente, não correspondem aos padrões estipulados para esta unidade por outros autores (VITAL et. al., 1999; COSTA et. al., 2004; BERRÊDO et. al., 2008), principalmente quando comparados em relação ao conteúdo de álcalis e ETR, correspondente à assembleias minerais distintas, dominadas por quartzo e caulinita na Formação Barreiras, e por quartzo, muscovita e feldspatos nos sedimentos terciários do Amapá. Torna-se necessário, portanto, a realização de estudos mais aprofundados sobre essa questão, tais como mapeamento em escala de detalhe e datações.

## REFERÊNCIAS

- ADAAD, J. E. *Minerais pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental*. São Paulo: Edição independente, 2001. 80p.
- ALLISON, M.A.; LEE, M. T. Sediment exchange between Amazon mudbanks and shore fringing mangroves in French Guiana. *Marine Geology*, n. 208, p. 169-190.2004.
- AMARAL, G. Província Tapajós e Rio Branco. In: ALMEIDA, F. F. M. ; HASUI, Y., (Coord.). *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgard Blücher.1984. 378p.
- ASMUS, H. E. Geologia da margem continental brasileira. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. de A.; DERZA, G. R.; ASMUS, H. E. (Coord.). *Geologia do Brasil*. Brasília,DF: DNPM,1984.p. 443-451.
- BARCELOS, J. H.; SUGUIO, K. Estudos sedimentológicos da Formação Areado, Cretáceo de Bacia Sanfranciscana, MG. *Revista Brasileira de Geociências*, v.11, n.4, p. 247-256, dez. 1981.
- BHATIA, M. R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*, n. 91, p. 611-627.1983.
- BERRÊDO, J. F. *Geoquímica dos sedimentos de manguezais do Nordeste do estado do Pará: o exemplo do estuário do rio Marapanim*. 2006.185 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém,2006.
- BERRÊDO, J. F.; COSTA, M. L.; VILHENA, M. P. S. P.; SANTOS, J. T. Mineralogia e geoquímica de sedimentos de manguezais da costa amazônica: o exemplo do estuário do rio Marapanim (Pará). *Revista Brasileira de Geociências*, v.38, n.1, p.26-37, mar. 2008.
- BEZERRA, P. E. L.; OLIVEIRA, W.; REGIS, W. D. E.; BRAZÃO, J. E. M.; GAVINHO, I.; COUTINHO, R. C. P. Amazônia Legal: zoneamento das potencialidades e dos recursos naturais. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA ; SUDAM. *Projeto zoneamento das potencialidades dos recursos naturais da Amazônia Legal: geologia, solos e vegetação*. Rio de Janeiro, 1990.p. 9-89.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapa & SIG*. Brasília,DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2003. 692 p.

BOAVENTURA, F. M. C.; NARITA, C. Geomorfologia da folha NA/NB-22-Macapá. In: PROJETO RADAM. *Folha NA/NB-22-Macapá: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial de terra*. Rio de Janeiro: DNPM, 1974.

BOSNIC, I. *Caracterização morfo-sedimentar e aspectos geoquímicos da deposição recente dos lagos Escara e Trindade, REBIO do Lago Piratuba-AP*. 2008. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

BRASIL. Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). *Tábuas de marés para 2011*. 32ed. Rio de Janeiro: DHN, 2011. p.196.

CAMIRE, G.E.; LAXECHE, M.R.; LUDDEN, J.N. Archean sedimentary rocks from the northwestern Pontiac subprovince of the Canadian Shield: chemical characterization, weathering and modelling of the source area. *Precambrian Research*, n. 62, p.285–305.1993.

COSTA, L.T. da R. *Sedimentação holocênica do estuário do Rio Araguari-AP*. 1996.148 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém,1996.

COSTA, T.R.C., VASQUEZ, M.L., CARVALHO, J.M.A., RICCI, P.S.F., LAFON, J.M., Geocronologia preliminar do Arqueano e Paleoproterozóico do N do Pará/SW do Amapá – Escudo das Guianas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém. *Resumos expandidos*. Belém: SBG, 2001. 1CD-ROM.

COSTA, M.L.; BEHLING, H.; BERRÊDO, J.F.; SIQUEIRA, N.V.M. Mineralogical, geochemical and palynological studies of late Holocene mangrove sediments from Northeastern Para State, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v.34, n.4, p.479-488. 2004.

FARIA JR., L. E. do C.; VITAL, H.; TORRES, A. M.; SILVA, M. S. da; SOUTO, F. A. F.; MENDES, A. C. Sedimentological and mineralogical studies in Amazon Continental Shelf, Mar 3:1, Project JOPS' 90/91. In: WORKSHOP JOPS.1993, Niterói. *Abstract*. Niterói, 1993. p. 19.

FOLK, R. L. *Petrology of sedimentary rocks*. Texas: Hemphill, 1974. 182p.

GALEHOUSE, J.S..Point Counting. In: R.E. Caver (ed.) *Procedures in sedimentary petrology*, p. 385-407, New York, Wiley, 1971.

GAUDETTE, H.E., FLIGHT, W.R., TONER, L., FOLGER, D.W..An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. 1974. *Journal Sedimentary Petrology*, 44:249-253.

GIBBS, R.J.. Clay mineral segregation in the marine environment. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1977 47:237-243.

GOMES, C. F. *Argilas. O que são e para que servem*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1988. 457 p.

GORINI, M. A. *The tectonic fabric of the Equatorial Atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to northeastern Brazil*. In: PETROBRAS. Estrutura e tectonismo da margem continental brasileira e suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais. Rio de Janeiro, 1979. CENPES/DINTEP. p. 11-16. (Projeto REMAC, 9).

GOVERNO DO ESTADO DO AMAPÁ: dados. Disponível em <[www.ap.gov.br](http://www.ap.gov.br)> Acessado em 06 de Fevereiro de 2013.

GROMET, L.P., DYMEK, R.F., HASKIN, L.A., RANDY, L.K. 1984. The "North american shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 2469-2482.

KONHAUSERB, K.O., FYFE, W.S., KRONBERG, B.I. *Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils*. 1994. *Chemical Geology*, 111: 155-175.

KRONBERG, B.I., FYFE, W.S., LEONARDOS, O.H. JR., SANTOS, A.M. The chemistry of some brazilian soils: element mobility during intense weathering. 1979. *Chemical Geology*, 24:211-229.

KROOK, L. Evidence of Amazon provenance of part of sandy sediments in the coastal and shelf areas of the Guianas. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR L'EVOLUTION DES LITTORAUX DES GUYANES ET DE LA ZONE CARAIBE MÉRIDIONALE PENDANT LE QUATÉNAIRE. Cayenne, 1990. *Volume des Résumés*. p. 92-96.

LAFON, J.M., DELOR, C., BARBOSA, O.S. 2001. Granulitos tarditransamazônicos na região norte do Estado do Amapá: o Charnockito Calçoene. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 7, Belém, Workshop 2, CD-ROM, 39-42.

LANDIM, P. M. B.; BOSIO, N. J.; WU, F. T.; MEYER JR., A. E.; CASTRO, P. R. M. Heavy minerals from Amazon River bed. *EOS*, v. 5. p.277.1978.

LANDIM, P. M. B.; BÓRIO, N. J.; WU, F. T.; CASTRO, P. R. M. Minerais pesados provenientes do leito do Rio Amazonas. *Acta Amazônica*, v. 13, p 51-72.1983.

LIMA, M. I. C. Geologia, In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM, folha NA/NB.22 Macapá. Rio de Janeiro, 1974. (Levantamento de Recursos Naturais, 6).

LIMA, I. C. 1984. *Evolução geológica do Cráton Amazônico no Brasil*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 1984, SBG, v. 7, p. 3032-43.

LIMA, M. I. C.; BEZERRA, P. E. L.; ARAÚJO, H. J. T. Sistematização da geologia do estado do Amapá. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., Belém, 1991. *Anais...* Belém: SBG-Núcleo Norte, 1991. p. 322-335.

LORING, D.H., RANTALA, R.T.T. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. 1992. *Earth-Science e Reviews*. 32:235-283.

MACAMBIRA, M.J.B.; BARROS, C.E.; SILVA, D.C.C.; SANTOS, M.C.C. Novos dados geológicos e geocronológicos para a região norte da Província Carajás: Evidências para o estabelecimento do limite Arqueano-Paleoproterozóico sudeste do Cráton Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7, Belém, *Resumos expandidos*. Belem: SBG, 2001. 1 CD-ROM.

MARGE ; MAURER.1989. *Heavy Minerals in colour*. Ed. Chapman & Hall. London. New York. Tokyo. Milbourne. Madras. 144p.

MCLENNAN, S.M., TAYLOR, S.R. 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. *Journal Geology*, 99:1-21.

MENDES, A. C. *Estudos sedimentológico e estratigráfico de sedimentos Holocênicos da Costa do Amapá*. 1994.274f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 1994.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Departamento Nacional de Produção Mineral, Projeto RADAM BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. *Folha NA.21. Tumucumaque e parte da Folha NB.21*. Rio de Janeiro, 1974. v.9. 43p.

MORTON, A. C. Heavy minerals in provenance studies. *Clay Minerals*, v.19, n.3, p. 287-308.1984.

NESBITT, H.W.; YOUNG, G. M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299: 715-717.

PATCHINEELAN, S. M. *Distribuição Espacial dos Argilominerais na Plataforma Continental Amazônica*. Rio de Janeiro, 1993. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências. 61p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Curso de Pós-Graduação em Geociências.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. *Geologia do Brasil (Fanerozóico)*. São Paulo: T. A. Queiroz, 1983. 631p.

PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E.; SIEVER, R. *Sand and sandstone*. New York: Springer Verlag, 1973.

POMERANCBLUM. M. ; COSTA. M. P. A. Integração de informações sobre os minerais pesados na plataforma continental brasileira. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. *Anais*. Belém, SBG, 1972.v. 2, p. 179-186.

PROST, M. T. 1991. *As costas da Guiana Francesa e do norte do Brasil: semelhanças e diferenças*. Caiena, ORSTOM. 59p. (Geomorfologia e sedimentologia – Rel. Int.).

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*, Belém, n.1, p. 25-74. (Série Ciências da Terra).

SANTOS, J.O.S, HARTMANN, L.A., GAUDETTE, H.E., GROVES, D.I., MCNAUGHTON, N.J., FLETCHER, I.R. 2000. *A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology*. *Gondwana Research*, 3(4):453-488.

SANTOS, V. F.; COSTA, W. J. P.; SILVA, M. S.; SILVEIRA, O. F. M.; TORRES, A. M.; SILVA, A. Q.; MARTINS, M. H. A. 2006. *Aspectos Geológicos e Geomorfológicos da Região Costeira entre o Rio Amapá Grande e a Região dos Lagos do Amapá*. RELATÓRIO REBIO. Cap.2.

SILVA, M. S. 1993. *Estudo mineralógico dos sedimentos de fundo da Plataforma do Amazonas*. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 64p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Curso de Graduação em Geologia, Centro de Geociências, UFPA, 1993.

SILVEIRA, O. F. M. *A planície costeira do Amapá: dinâmica de ambiente costeiro influenciados por grandes fontes fluviais quaternárias*. 1998. 00f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica – Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará - Belém, 1998.

SILVEIRA, O. F. M.; SILVEIRA, O. T.; COSTA NETO, S. V. *História natural das regiões dos Lagos e Sucuriju, Amapá, Brasil*. 2004. (Relatório de Atividades).

SILVEIRA, O. F. M.; SANTOS, V. F. Aspectos geológico-geomorfológicos da região costeira entre a Rio Amapá Grande e a Região dos Lagos do Amapá. In: *Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira – PROBIO*. Macapá, AP. 2006. (Relatório Técnico-Científico Meio Físico).

TAYLOR, S. R.; MCLENNAN, S. M. 1985. *The continental crust: Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks*. Oxford: Blackwell Scientific Publication, p.312.

THOREZ, J. *Practical identification of clay minerals*. Bélgica, 1976. G. Lelotte. 90p.

TOMAZELLI, L. J. *Minerais Pesados da Plataforma do Rio Grande do Sul*. In: *Acta Geológica Leopodensia*, v.2, n.5, p.103-159, 1978.

TORRES, A. M.; SILVA, M. S.; STATTEGER, K.; MENDES, A. C. Distribution of surface sediments and heavy minerals on the Amazon Continental Shelf. In: *AMASSEDSSYMPOSIUM*, 1993, Niterói. *Abstracts*. Niteroi, 1993. p. 51.

TORRES, A. M. *Sedimentology of the Amazon Mouth: North and South Channels, Brazil*. 1997. 145f. Tese (Doutorado) – Geologisch-Palaontologisch Institut und Museum. Christian-Albrechts-Universitat Kiel, Deutschland, 1997.

WALKEY-BLACK, A. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soil. *Soil Science*, n. 63, p.251-263. 1947.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastics sediments. *Journal of Geology*, v. 30, n.1, p.377-392. 1922.