



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATRÍCIA SILVA RODRIGUES

**“CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E  
DETERMINAÇÃO DA PROVENIÊNCIA DOS  
SEDIMENTOS LAMOSOS DO ESTUÁRIO DO RIO  
CUNANI-AP”**

**GEOCIÊNCIAS  
U F P A**

**BELÉM - PARÁ**

**FEVEREIRO – 2016**

**PATRÍCIA SILVA RODRIGUES**

**“CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E  
DETERMINAÇÃO DA PROVENIÊNCIA DOS  
SEDIMENTOS LAMOSOS DO ESTUÁRIO DO RIO  
CUNANI-AP”**

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: Dr. José Francisco Berrêdo

Co-orientador: Prof. Dr. Jean-Michel Lafon

**BELÉM**

**2016**

**PATRÍCIA SILVA RODRIGUES**

**“CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E  
DETERMINAÇÃO DA PROVENIÊNCIA DOS  
SEDIMENTOS LAMOSOS DO ESTUÁRIO DO RIO  
CUNANI-AP”**

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 Geologia e Geoquímica  
Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG

---

**José Augusto Martins Corrêa- Membro**

Doutor em Geologia e Geoquímica  
Universidade Federal do Pará- UFPA

---

**Amílcar Carvalho Mendes –Membro**

Mestre em Geologia e Geoquímica  
Museu Paraense Emílio Goeldi- MPEG

Dedico esse trabalho à minha mãezinha Carmélia Imaculada Silva que nunca poupou esforços e dedicação para que os meus sonhos se realizassem.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que sempre me guiou e sustentou.

À minha mãe Carmélia e minha irmã Natália, que mesmo distante, sempre me apoiaram e nunca duvidaram de que eu chegaria até aqui.

À meu pai Hudson, pelas duras viagens ao porto de madrugada, que sempre cuidou para que nada me faltasse e sempre teve palavras de motivação para os momentos difíceis.

À meu irmão Rhud, que também foi peça fundamental nesse caminho.

Ao meu orientador José Francisco Berrêdo, pela oportunidade, confiança, paciência e incentivos à mim concedidos ao longo desses 3 anos.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi e CNPQ pelas bolsas de iniciação científica.

Ao Laboratório de Difração de Raios-X IG-UFPA em especial à técnica Bruna Gomes, sempre solícita.

Ao LaMIGA IG-UFPA, pelas análises granulométricas e de difração de raio-X. Em especial, a Socorro Gomes e Suyanne Flávia.

Ao alemão mais brasileiro que já conheci, Kilian Eichenseer, pelas correções e ajuda com o meu *Abstract*.

Ao geofísico João Paulo Ferreira da Silva e ao projeto AMASTRAT, pelas amostras cedidas para realização desse trabalho e, também, ao oceanógrafo Artur Gustavo (MPEG) pelo auxílio na confecção do mapa de amostragem.

Aos meus amigos: Helder Thadeu, pelo auxílio no tratamento das imagens; Edson Batista, pela ajuda com mapas e Pablllo Henrique, pelo apoio na interpretação dos difratogramas.

Aos meus amigos de 2010 que tornaram esses 5 anos mais divertidos: Edson Batista, Reinaldo Jr., Daiveson Abreu (Neymar), Lucas Baía, Rômulo Amaral, Franco Felipe, Arthur Jerônimo, Dayane Coelho, Leonardo Negrão, Dante Álex e Aílton Brito.

Não poderia deixar de agradecer aos meus amigos da FUZARCA: Rafael Guimarães (Pereira), Helder Thadeu (Rodela), Paulo Aviz (Cara de Peixe 1), Ramon Carvalho (Cara de Peixe 2), Victor Matheus (Lombra), Christian Ribeiro (Bino) e Bruna Nogueira (Bruninha), por sempre estarem presentes quando precisei, pelas brincadeiras e palhaçadas que ajudaram a aliviar o estresse ao longo dos anos.

“ A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein

## RESUMO

Estuários proveêm abrigo e alimento para organismos bentônicos e pelágicos, para consumidores primários da cadeia alimentar e também para seres humanos. Atuam também como barreiras, diminuindo o impacto de inundações e erosões nas áreas costeiras. Nesse trabalho determinou-se as propriedades físico-químicas (Eh, pH e salinidade intersticial) bem como as características mineralógicas e geoquímicas dos sedimentos lamosos do rio Cunani-AP, a fim de contribuir para o conhecimento dos processos de circulação, sedimentação e proveniência dos sedimentos estuarinos. O rio Cunani está inserido no Domínio Norte da Planície Costeira do Estado do Amapá e forma um dos poucos estuários que desembocam diretamente no Oceano Atlântico, formando uma extensa praia estuarina. Situa-se no macrocompartimento do Golfão Amazônico e foi classificado como um estuário importador de sedimentos. De maneira geral os valores de pH variaram de básico a levemente alcalinos, porém nos sedimentos mais próximos a a montante do estuário valores entre 5,5 e 5,7 foram registrados. Os valores negativos de Eh classificaram essa região do estuário como um ambiente redutor. A fração granulométrica dominante observada foi a fração lamosa. O grau de correlação de Pearson (r) entre  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , CaO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , elementos traços (Nb, Sr, Th, Sc, Co etc) e elementos terras raras (La, Nd, Tm, Sm etc) variaram entre moderado a forte. Essa relação linear entre os elementos acima citados está associada a presença de argilominerais como esmectita, caulinita e illita. Mineralogicamente os sedimentos são compostos por quartzo, muscovita, esmectita, caulinita e illita. Duas assembleias de minerais pesados transparentes foram identificadas e denominadas de assembleias A e B. A assembleia A é formada por hornblenda, epidoto, topázio, estauroлита, turmalina, andaluzita, hiperstênio, zircão, rutilo e apatita, e é representativa dos sedimentos lamosos. A Assembleia B é composta por zircão, hornblenda, epidoto, topázio, rutilo e turmalina e representa os sedimentos de fundo. O estudo dos minerais pesados revelou que essas assembleias possuem áreas fontes distintas. Propõe-se que a assembleia B tenha como fonte principal o granito Cunani e, subordinadamente, a Suíte Cricou e, o Granodiorito Carnot e, a assembleia A, seja proveniente de sedimentos da Plataforma Amazônica.

Palavras-chave: Rio Cunani. Mineralogia. Geoquímica. Propriedades físico-químicas.

## ABSTRACT

Estuaries provide food and habitat for a large array of benthic, and pelagic organisms, to primary consumers in the food chain and also to human beings. They act also as protection of coastal areas from floods and erosion. In this paper we studied the physical-chemical properties (interstitial pH, Eh and salinity) as well as the mineralogical and geochemical characteristics of sediments from the Cunani River-Amapá-Brazil, all in order to contribute to the geological knowledge of this remote area. The Cunani River is located in the northern domain of the coastal plain of Amapá State and it is one of a few estuaries that discharges into the Atlantic Ocean in a wide sandy beach. The tide influence reaches about 28 km away from the mouth of the river, with the saline front not exceeding 13 km. pH values of the interstitial fluids had vary between basic to slightly neutral, except in the sediments near to Cunani's river mouth, where they were acidic. The negative Eh values, raging from -20 to -280 indicated a reducing environment. The dominant grain size is mud, accounting for 98% of the total sediments. Pearson's r among major ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , CaO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ), trace elements (Nb, Sr, Th, Sc, Co etc) and REE (La, Nd, Tm, Sm etc) varied between medium and high correlation. We supposed that this linear relationship between this elements are related to the chemical structure of clayminerals as kaolinite, chlorite and illite. Mineralogically the sediments were composed by quartz, muscovite, smectite, kaolinite, albite and ilite. Two different transparent heavy minerals assemblies were distinguished, assembly A and B. Assembly A is formed by hornblende, epidote, topaz, staurolite, tourmaline, hypersthene, zircon, rutile, andaluzite, apatite and it's representative of the muddy sediments of Cunani's river. Assembly B is composed of zircon, hornblende, topaz, rutile, epidote and it is representative of coarsening upwards sediments. The study of heavy minerals revealed that these two assemblies had originated from different sources. Assembly A had come from the Amazon river and assembly B had come mainly from Cunani Granite and also from Carnot Granodiorite and Cricou suite.

Keywords: Cunani River. Mineralogy. Geochemistry. Physico-Chemical property.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. ....  | 15 |
| FIGURA 2: PADRÃO DE DRENAGEM DENDRÍTICA EXIBIDA PELO RIO CUNANI E TAMBÉM OS TIPOS DE SEDIMENTOS IDENTIFICADOS AO LONGO DO RIO. ....  | 22 |
| FIGURA 3: PERFIL ESQUEMÁTICO DO BAIXO CURSO DO RIO CUNANI COM BASE EM INFORMAÇÕES DE CAMPO .....   | 23 |
| FIGURA 4: MAPA DE AMOSTRAGEM DOS SEDIMENTOS DE FUNDO E LAMOSOS DO RIO CUNANI. ....   | 28 |
| FIGURA 5: GRÁFICO MOSTRANDO A VARIAÇÃO DA SALINIDADE INTERSTICIAL NOS SEDIMENTOS LAMOSOS DO RIO CUNANI. EIXO X- PROFUNDIDADE. EIXO Y- DISTÂNCIA EM METROS ENTRE OS TRADOS. ....  | 29 |
| FIGURA 6: GRÁFICOS DE PH E EH (mV) INTERSTICIAIS. FIGURA 6A: GRÁFICO MOSTRANDO A VARIAÇÃO DE PH AO LONGO DO RIO. NA REGIÃO DA FOZ ENCONTRAM-SE OS MAIORES VALORES QUE DIMINUEM GRADUALMENTE EM DIREÇÃO A MONTANTE. FIGURA 6B: GRÁFICO DA VARIAÇÃO DAS CONDIÇÕES OXI-REDUTORAS NA REGIÃO ESTUDADA. EIXO X- PROFUNDIDADE. EIXO Y- DISTÂNCIA EM METROS ENTRE OS TRADOS.....   | 30 |
| FIGURA 7: REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA IDENTIFICADA NOS SEDIMENTOS ESTUDADOS .....   | 33 |
| FIGURA 8: GRÁFICOS DE VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE ARGILA, SILTE E AREIA AO LONGO DA REGIÃO ESTUDADA. A) GRÁFICO MOSTRANDO A VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE ARGILA AO LONGO DO RIO. B) VARIAÇÃO NA QUANTIDADE DE SILTE. C) VARIAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DE AREIA AO LONGO DO BAIXO CURSO DO RIO CUNANI. ....   | 35 |
| FIGURA 9: DIAGRAMA COM PLOTAGEM DAS AMOSTRAS ESTUDADAS CONCENTRADAS NO CAMPO REFERENTE A AMBIENTES COM ALTA ENERGIA HIDRODINÂMICA. ....  | 36 |
| FIGURA 10: GRÃOS DE MINERAIS ULTRA ESTÁVEIS IDENTIFICADOS NOS SEDIMENTOS DO RIO CUNANI. A) GRÃOS DE ZIRCÃO. OBSERVA-SE A DOMINÂNCIA DE GRÃOS BIPIRAMIDAI EUÉDRICOS. GRÃOS SUBARREDONDADOS OCORREM SUBORDINADAMENTE. OS GRÃOS PODEM APRESENTAR INCLUSÕES MINERAIS. B) GRÃOS DE TURMALINA. AS FORMAS SUBARREDONDADAS SÃO DOMINANTES, OCORRENDO PORÉM, EM QUANTIDADES MENORES, GRÃOS SUBÉDRICOS. GRÃOS DE COLARAÇÃO VERDE E ROSA FORAM IDENTIFICADOS. C) GRÃOS DE RUTILO OCORRENDO PREDOMINANTEMENTE SOB A FORMA ARREDONDA. ALTO RELEVO E ALTA COR DE INTERFERÊNCIA SÃO CARACTERÍSTICAS MARCANTES DESSE MINERAL ..... | 39 |
| FIGURA 11: MINERAIS PESADOS MODERADAMENTE ESTÁVEIS. D) GRÃOS EUÉDRICOS A SUBÉDRICOS DE APATITA. APRESENTAM NA MAIORIA DAS VEZES INCLUSÕES DE MINERAIS OPACOS. E) GRÃOS ANGULOSOS E ESCAMOSOS DE ESTRUAULITA.....   | 40 |
| FIGURA 12: MINERAIS INSTÁVEIS. F) GRÃOS SUBÉDRICOS E SUBANGULOSOS DE ANDALUZITA.   |    |

|   |    |
|---|----|
| COM COLORAÇÃO ROSADA . G) GRÃOS ANÉDRICOS E ANGULOSOS DE EPIDOTO. H) GRÃOS SUBÉDRICOS DE HORNBLENDA. ESSE MINERAL OCORRE NAS COR VERDE E TAMBÉM PODE APRESENTA-SE INCOLOR.....  | 41 |
| FIGURA 13 GRÃOS INSTÁVEIS. I) GRÃOS DE ORTOPIROXÊNIO SUBÉDRICOS DE HÁBITO PRISMÁTICO E COR MARROM. J) GRÃOS INCOLORES E ANÉDRICOS DE TOPÁZIO .....  | 42 |
| FIGURA 14: COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS LAMOSOS DO RIO CUNANI. ....   | 43 |
| FIGURA 15 DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS MAIS REPRESENTATIVAS DA MINERALOGIA IDENTIFICADA NOS SEDIMENTOS DO RIO CUNANI POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X PARA AMOSTRA TOTAL. E-ESMECTITA;MS-MUSCOVITA;QTZ-QUARTZO;AB-ALBITA;HAL-HALITA;KLN-CAULINITA;ILI-ILITA .....  | 44 |
| FIGURA 16 : DIFRATOGRAMAS REPRESENTATIVOS DOS ARGILOMINERAIS IDENTIFICADOS NOS SEDIMENTOS LAMOSOS DO RIO CUNANI. E-ESMECTITA; KLN-CAULINITA E ILI-ILITA. ....   | 45 |
| FIGURA 17: MINERAIS PESADOS TÍPICOS PARA CERTOS TIPOS DE ROCHA. ....  | 47 |
| FIGURA 18: PERCENTUAIS DE DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES IDENTIFICADOS EM LÂMINA NOS SEDIMENTOS DE FUNDO E DE TRADO DO RIO CUNANI....  | 48 |
| FIGURA 19 FIGURA REPRESENTANDO AS ASSEMBLEIAS MINERALÓGICAS OBTIDAS DESDE A CABECEIRA DO ESTUÁRIO ATÉ A FOZ DO RIO CUNANI.....  | 49 |
| FIGURA 20: RELAÇÃO DE PROPORÇÃO ENTRE MINERAIS PESADOS OPACOS E NÃO OPACOS (VALORES EM PORCENTAGEM) E O TOTAL DE GRÃOS CONTADOS PARA CADA AMOSTRA ..  | 50 |
| FIGURA 21: VARIAÇÃO DOS PRINCIPAIS ÓXIDOS AO LONGO DA ÁREA DE ESTUDO.....   | 53 |
| FIGURA 22: GRÁFICO MOSTRANDO A COMPARAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS TRAÇOS DO RIO CUNANI, ARAGUARI E PAAS. OS VALORES FICAM NORMALIZADOS EM RELAÇÃO AOS VALORES MÉDIOS CRUSTAIS.....   | 56 |
| FIGURA 23: ARANHOGRAMA REPRESENTANDO A COMPARAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DOS ETRS NOS SEDIMENTOS DO RIO CUNANI, COSTA CONTINENTAL, RIO ARAGUARI E PAAS .....  | 58 |
| FIGURA 24: A) MAPA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS (PCA) E ÁREA OCEÂNICA ADJACENTE. AS SETAS CONTÍNUAS MOSTRAM A INFLUÊNCIA DA CORRENTE NORTE DO BRASIL (CNB)/SUBCORRENTE NORTE DO BRASIL (SCNB), A CONTRACORRENTE NORTE EQUATORIAL (CCNE) E A SUA RETROFLEXÃO NA REGIÃO OCEÂNICA. AS LINHAS PONTILHADAS REPRESENTAM AS ISÓBATAS DE 20, 100 E 2000 M. MODIFICADO A PARTIR DE SILVA ET. AL., 2009. B) DISTRIBUIÇÃO DA LAMA FLUIDA DURANTE OS QUATRO CRUZEIROS DO PROJETO AMASSEDS (REGIÃO HACHURADA) ..... | 63 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| TABELA 1: IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS UTILIZADAS NESSE TRABALHO.....  | 25 |
| TABELA 2: VALORES PERCENTUAIS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTE DAS AMOSTRAS ANALISADAS. INTERVALOS DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS: AREIA MUITO FINA – 0,125-0,062MM; SILTE – 0,062MM-4M; ARGILA – < 4MM.....   | 34 |
| TABELA 3: - ESTABILIDADES QUÍMICAS RELATIVAS DE ALGUNS DOS MINERAIS PESADOS MAIS COMUNS (CRESCENTE DO TOPO PARA A BASE), DURANTE OS PROCESSOS DE INTEMPERISMO .....  | 46 |
| TABELA 4: ÍNDICE ZTR DOS SEDIMENTOS ESTUDADOS, MOSTRANDO UMA DIMINUIÇÃO NO PERCENTUAL EM DIREÇÃO À FOZ DO RIO CUNANI, EVIDENTE NA FRAÇÃO FINA (0,125-0,062MM). VALORES EM PORCENTAGEM.....   | 50 |
| TABELA 5: PERCENTUAIS DE OCORRÊNCIA DOS MINERAIS PESADOS IDENTIFICADOS NESSE TRABALHO, BEM COMO O DE MINERAIS OPACOS E NÚMERO DE GRÃOS CONTADOS. HB (HORNBLENDA); EP (EPIDOTO); Zr (ZIRCÃO); Ms (MUSCOVITA); EST (ESTAUROLITA); TUR (TURMALINA); TOP (TOPÁZIO); AP (APATITA); AND (ANDALUZITA); HP (HIPERSTÊNIO); BT (BIOTITA) E RUT (RUTILO). ..... | 52 |
| TABLE 6: COMPARAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DOS SEDIMENTOS DO RIO CUNANI COM OS VALORES MÉDIOS DA COMPOSIÇÃO DA CROSTA CONTINENTAL SUPERIOR E DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DOS RIOS ARAGUARI E PARÁ E DA FORMAÇÃO BARREIRAS.. .....  | 54 |
| TABLE 7: CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS NOS SEDIMENTOS DE TRADO DO RIO CUNANI (VALORES EM PPM), EM COMPARAÇÃO COM OS VALORES MÉDIOS DA CROSTA CONTINENTAL SUPERIOR, RIO ARAGUARI, RIO PARÁ, FORMAÇÃO BARREIRAS E PAAS. VALORES NORMALIZADOS EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO MÉDIA NOS METEORITOS CONDRIOS .....                                   | 57 |
| TABLE 8: RAZÕES ENTRE ELEMENTOS-TRAÇO NOS SEDIMENTOS LAMOSOS (ST) E DE FUNDO (SF) DO RIO CUNANI COMPARADOS AO PAAS.....  | 61 |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>14</b> |
| 1.1      | Apresentação.....   | 14        |
| <b>2</b> | <b>LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....</b>                                     | <b>15</b> |
| <b>3</b> | <b>OBJETIVOS .....</b>  | <b>16</b> |
| 3.1      | Objetivo Geral .....  | 16        |
| 3.2      | Objetivos Específicos.....  | 16        |
| <b>4</b> | <b>ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>                  | <b>17</b> |
| 4.1      | Clima .....   | 17        |
| 4.2      | Hidrografia .....   | 17        |
| <b>5</b> | <b>GEOLOGIA REGIONAL .....</b>  | <b>19</b> |
| 5.1      | Aspectos da Geologia local .....                                      | 21        |
| <b>6</b> | <b>PLATAFORMA AMAZÔNICA (PA).....</b>                                 | <b>24</b> |
| <b>7</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                                       | <b>25</b> |
| 7.1      | Materiais .....   | 25        |
| <b>8</b> | <b>MÉTODOS.....</b>   | <b>26</b> |
| 8.1      | Análises Mineralógicas .....  | 26        |
| 8.1.1    | Identificação Mineralógica por Difração de Raios-X .....              | 26        |
| 8.1.2    | Separação e Preparação das Lâminas de Minerais Pesados .....          | 26        |
| 8.1.3    | Descrição Mineralógica, Textural e Quantificação dos Minerais Pesados | 27        |
| 8.1.4    | Análise granulométrica .....  | 27        |
| 8.1.5    | Análises Químicas Totais.....   | 27        |
| 8.1.6    | Coleta e análise de Salinidade, pH e Eh.....                          | 27        |
| <b>9</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                  | <b>29</b> |
| 9.1      | Propiedades Físico-Químicas .....                                     | 29        |
| 9.1.1    | Salinidade .....  | 29        |
| 9.1.2    | pH/Eh (mV) .....  | 30        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>10</b>  | <b>GRANULOMETRIA .....</b>                              | <b>33</b> |
| <b>11</b>  | <b>MINERALOGIA .....</b>                                | <b>38</b> |
| 11.1       | <b>Descrição Minerais Pesados.....</b>                  | 38        |
| 11.1.1     | MINERAIS ULTRA ESTÁVEIS.....                            | 38        |
| 11.2       | <b>Minerais Estáveis e Moderadamente Instáveis.....</b> | 39        |
| 11.2.1     | Minerais Instáveis.....                                 | 40        |
| 11.3       | <b>Mineralogia Total .....</b>                          | 43        |
| 11.3.1     | Minerais detríticos leves .....                         | 43        |
| 11.3.1.1   | Descrição dos minerais detríticos leves.....            | 43        |
| 11.3.1.1.1 | Quartzo .....   | 43        |
| 11.3.1.1.2 | Feldspatos .....  | 43        |
| 11.3.1.1.3 | Muscovita .....   | 44        |
| 11.4       | <b>Caracterização dos argilominerais.....</b>           | 44        |
| 11.4.1     | Esmectita (E) .....                                     | 44        |
| 11.4.2     | Caulinita (Kln).....                                    | 45        |
| 11.4.3     | Ilita (Ili).....  | 45        |
| 11.5       | <b>MINERAIS PESADOS .....</b>                           | 46        |
| 11.5.1     | Quantificação dos Minerais .....                        | 47        |
| <b>12</b>  | <b>COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....</b>                          | <b>53</b> |
| 12.1       | <b>Elementos Maiores.....</b>                           | 53        |
| 12.2       | <b>Elementos-Traço .....</b>                            | 55        |
| 12.3       | Elementos Terras Raras .....                            | 57        |
| 12.4       | CORRELAÇÕES QUÍMICAS.....                               | 59        |
| <b>13</b>  | <b>CONSIDERAÇÕES SOBRE PROVENIÊNCIA SEDIMENTOS.....</b> | <b>60</b> |
| <b>14</b>  | <b>CONCLUSÃO.....</b>                                   | <b>64</b> |
|            | REFERÊNCIAS .....                                       | 66        |
|            | APÊNDICES .....   | 72        |

|   |    |
|---|----|
| TABELA DE CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS MAIORES, C, S E PERDA AO FOGO ..... | 74 |
| TABELA ELEMENTOS TRAÇOS (Be-Zr) PPM.....                                | 76 |
| TABELA ELEMENTOS TRAÇOS (Nb-U) PPM .....                                | 78 |
| TABELA ELEMENTOS TRAÇOS (Nb-U) PPM .....                                | 80 |
| TABELAS DE ELEMNTOS TERRAS RARAS (PPM) .....                            | 82 |
| GRANULOMETRIA .....   | 84 |
| TABELA DE CORRELAÇÃO 1 .....  | 85 |
| TABELA DE CORRELAÇÃO 2 .....  | 86 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

O rio Cunani está inserido no Domínio Norte da Planície Costeira do Estado do Amapá e forma um dos poucos estuários que desembocam diretamente no Oceano Atlântico, formando uma extensa praia estuarina. Segundo Silva et al., 2015, situa-se no macrocompartimento do Golfão Amazônico e, mesmo centrado neste, possui características contrastantes com as do Rio Amazonas, considerado o maior rio do mundo em descargas líquidas e sólidas, com 209.000 m<sup>3</sup>/s e 108 ton/dia, respectivamente. Ainda de acordo com Silva (op.cit.), possui de seu alto curso (nas proximidades da Comunidade do Carnot) até a foz, aproximadamente 80 Km de comprimento, com meandros ocorrendo em toda sua extensão.

Silva et. al., 2015 classificaram o estuário do rio Cunani como sendo importador de sedimentos, já que a velocidade de fluxo no período de maré de enchente é maior e mais duradora do que no de maré de vazante. A influência da maré chega até 28 km da foz, sendo que a frente salina não ultrapassa os 13 km. Observou-se, também, a existência de salinidade intersticial nas amostras de argila coletadas no leito do rio, a qual tem o decaimento de gradiente na direção jusante-montante.

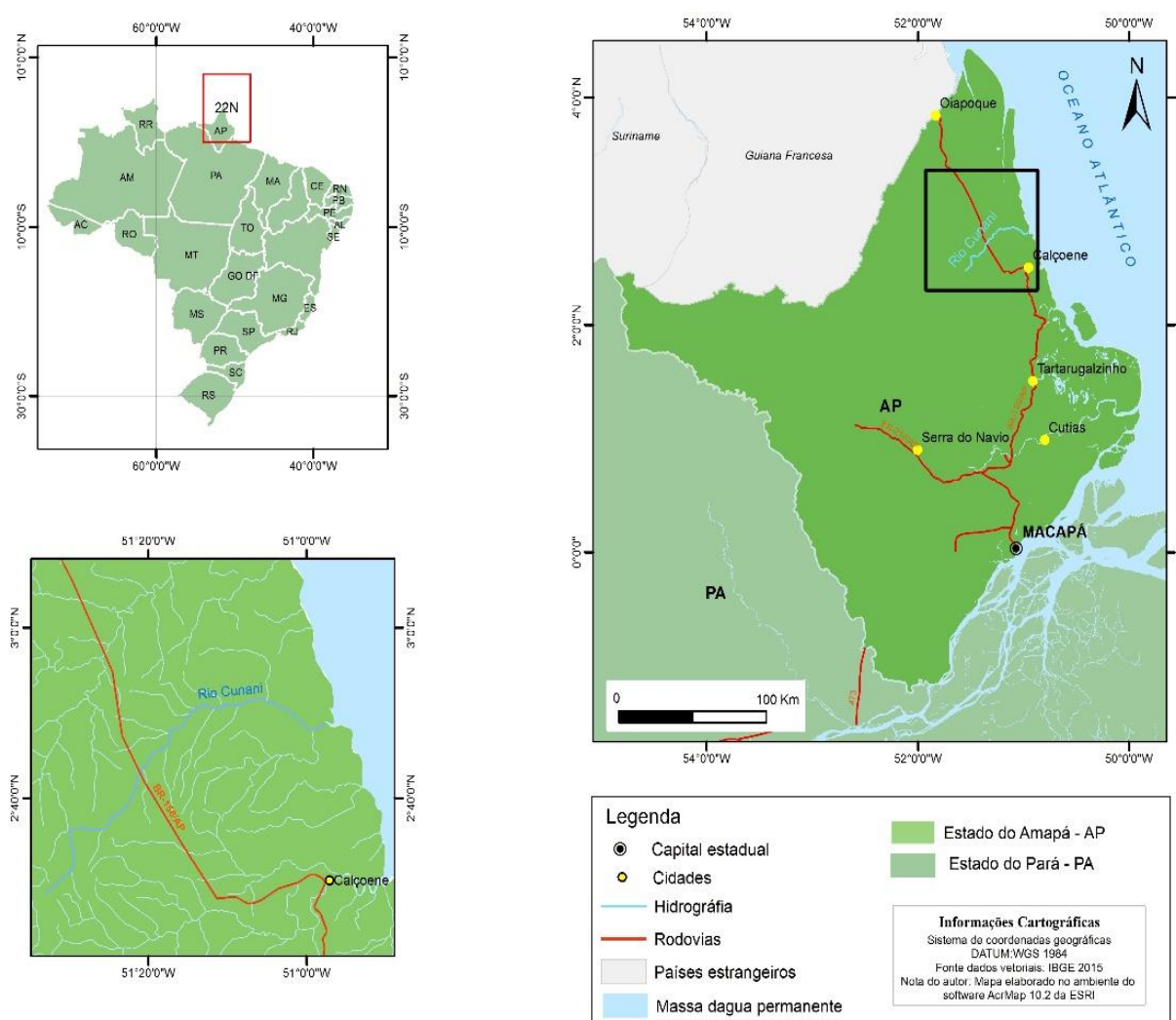
Devido à forte influência exercida pelas marés em regiões de estuário, a determinação de propriedades físico-químicas, análises mineralógicas e geoquímicas são importantes ferramentas no auxílio do conhecimento da geologia local, bem como dos mecanismos que influenciaram e/ou ainda influenciam a interação continente-oceano. Permitindo a compreensão da dinâmica e funcionamento atual e dando informações para o entendimento dos processos de evolução dos ambientes costeiros.

Portanto, buscou-se através deste trabalho caracterizar as propriedades físico-químicas e determinar a proveniência dos sedimentos lamosos do rio Cunani, com base em análises mineralógicas, químicas e estudo dos minerais pesados transparentes.

## 2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O acesso à região de estudo se dá, a partir da cidade de Macapá, pela rodovia BR-156 (Macapá-Oiapoque). Percorre-se aproximadamente 330 km de rodovia até o Município de Calçoene. A partir daí utiliza-se de uma estrada rural com 52 km, que leva até ao Rio Cunani (figura 1). A região de Cunani apresenta dificuldades de acesso entre os meses de fevereiro e julho, quando as estradas ficam praticamente intransitáveis, devido às chuvas. Na Vila Cunani, existe um campo de pouso para aviões de pequeno porte, atualmente desativado.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

- ✓ Definir as variações físico-químicas (pH, Eh (m/V) e salinidade) e prováveis fontes para os sedimentos lamosos do rio Cunani

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Medir os parâmetros físico-químicos (salinidade, pH e Eh) nas águas intersticiais dos sedimentos lamosos do estuário do Rio Cunani-AP;
- ✓ Identificar e caracterizar a mineralogia leve dos sedimentos lamosos;
- ✓ Identificar e caracterizar os minerais pesados;
- ✓ Analisar a composição química dos sedimentos de fundo e lamosos.

## **4 ASPECTOS FISIOGRAFICOS DA ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1 Clima**

A Planície Costeira Amapaense (PCA) situa-se na região equatorial e possui um clima quente e úmido, com a existência de duas estações bem distintas de precipitação: (i) a estação seca, de setembro a novembro (com precipitação em torno de 50 mm/mês) e (ii) a estação chuvosa, de fevereiro a maio, com precipitações maiores que 250 mm. Segundo Nimer (1991), a precipitação pluviométrica anual da PCA varia de 2.750 a 3.500 mm. Segundo Martins e da Luz (2004), a precipitação na PCA é determinada pela influência de vários sistemas atmosféricos, que variam desde a escala convectiva a escala sinótica: linhas de instabilidade; zona de convergência intertropical; ondas de leste; sistemas de brisas (marítima e terrestre, com atuação contínua durante as 24 horas do dia, em períodos que correspondem ao horário da manhã – brisa marítima e da noite – brisa terrestre, e em períodos intervalares). A região é afetada, também, por fenômenos episódicos, tais como El Niño e La Niña, causando desta forma, modificação no regime de precipitação.

Essa região não apresenta grandes diferenças de temperatura ao longo do ano e a temperatura média anual varia entre 24° e 26°C. Na PCA, as temperaturas médias anuais variam entre 26° e 27°C. De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2004), as temperaturas mais elevadas ocorrem entre os meses de setembro e novembro e, as menores, entre janeiro e março. O clima é bastante úmido, em função da floresta Amazônica a umidade relativa média anual do ar varia em torno de 80% a 90% (TORRES; EL-ROBRINI, 2006).

### **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).

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 (MENDES *op. cit.*).

De acordo com o autor retrocitado, 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 e Calçoene são também meandrantas, 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 fanerozoicos, até o contato com os sedimentos quaternários da planície costeira, onde seus cursos sofrem uma brusca mudança para N.

A bacia do rio Cunani, área de estudo do presente trabalho, possui 181.000 ha e o rio tem 90 km de extensão. Está inserido no Domínio Norte da Planície Costeira do Estado do Amapá e forma um dos poucos estuários que desembocam diretamente no Oceano Atlântico, formando uma extensa praia estuarina. Situa-se no macrocompartimento do Golfão Amazônico e, mesmo centrado neste, possui características contrastantes com as do Rio Amazonas (SILVA et. al., 2005). Forma o limite sul com o Parque Nacional do Cabo Orange localizado na porção nordeste do estado do Amapá. Passa por duas comunidades: a Vila Carnot e a Vila Cunani, localizada a 25 km de sua foz. Sofre influência da maré até pouco acima da Vila Cunani. É navegável até essa Vila, desde que com conhecimento local (PLANO DE MANEJO PARQUE NACIONAL DO CABO ORANGE, 2010).

Ainda de acordo com Silva et. al. (2015) os dados de vazão coletados próximos a foz do rio, indicaram uma velocidade de fluxo maior no período de maré de enchente como também, que este evento é de menor duração do que o de maré de vazante, classificando o estuário, como um sistema importador de sedimentos.

## 5 GEOLOGIA REGIONAL

O arcabouço geológico do Estado do Amapá está inserido no Escudo das Guianas e é composto por rochas de idades arqueanas a cenozoicas, sendo representado por três unidades geotectônicas: o Núcleo Arqueano, os Cinturões de Cisalhamento e as Coberturas Plataformais (RADAM, 1974, LIMA et. al., 1991).

O Núcleo Arqueano é representado pelo Complexo Guianense, Suíte Metamórfica Ananaí-Tartarugal Grande e por granitoides (LIMA et. al. 1974). O Complexo Guianense constitui o embasamento do estado (granodioritos, trondhjemitos e tonalitos).

Da suíte metamórfica Ananaí-Tartarugal Grande a unidade mais antiga é constituída pela Suíte Metamórfica Ananaí, que inclui a unidade Piraclasto Mutum (composto principalmente por hiperstênio-piroclásio granulitos) e algumas ocorrências de quartzitos bandados com leitos ferríferos. Rochas granulíticas félsicas foram englobadas na Suíte Metamórfica Tartarugal Grande, constituída por granulitos de composição charno-enderbítica denominados de granulitos félsicos indivisos. Neles, foram individualizados o granulito charnoquítico Cuatá e o enderbítico Cobra (Oliveira et. al. (2008). A Suíte Metamórfica Tartarugal Grande é composta ainda por rochas graníticas de granulação média a grossa e predominantemente isotrópicas (granodioritos e/ou monzogranitos), de idade arqueana, basicamente constituída por feldspatos (k-feldspatos e plagioclásio), quartzo e mica (SOUZA, 2010). Grande parte dessas rochas estão intensamente alteradas e formam saprólitos de grande extensão. Os saprólitos são predominantemente argilosos, de coloração amarelo-avermelhada ou esbranquiçada.

Trabalhos acerca da estratigrafia da região costeira do Amapá, referem-se ao Grupo Barreiras como unidade que responde pela presença de rochas sedimentares expostas na região litorânea emersa, em uma faixa que se estende de norte a sul, cobrindo praticamente toda a costa do Amapá (CPRM (2004); IBGE (2007); Rosseti et. al. (1989), Lima et al. (1991); Silveira (1998); Torres e El-Robrini (2006).

Os trabalhos de Souza (2010) e Bezerra (2014) trazem porém novos dados e informações, que permitiram uma nova definição e interpretação para a geologia regional do Amapá. SOUZA (2010), através de análise por LOE (Luminescência Ópticamente Estimulada) feita em sedimentos até então pertencentes ao Grupo Barreiras, obteve uma idade pleistocênica para os mesmos. Esta, variando entre 30.000 e 80.000 anos AP,

excluindo assim a possibilidade desses serem representantes do Grupo Barreiras de idade Mioceno/Plioceno. O mesmo autor classifica esses sedimentos como pertencentes a um terraço pleistocênico e, segundo ele, esses depósitos pleistocênicos formariam duas unidades morfológicas distintas: Terraço arenoso e Terraço areno-argiloso, ambos apresentando intensa ferruginização.

Segundo Silveira e Santos (2006) quatro tipos de depósitos quaternários podem ser identificados na planície costeira amapaense: Depósitos de planície flúvio-estuarina, lacustres, aluviões e depósitos de planícies flúvio estuarina e flúvio marinha. A área de estudo do presente trabalho pertence aos depósitos de planícies flúvio-estuarina e flúvio marinha brevemente descrito abaixo.

Depósito de Planícies Flúvio-Marinha e Flúvio-Estuarina- Estes depósitos, situados ao longo da costa desde a foz do rio Cunani até o extremo norte da área, estão associados a áreas sob maior influência de salinidade e são caracterizados por sedimentos pelíticos (argila e silte) nas áreas onde vegetação de manguezais predomina e por sedimentos silticos-arenosos e arenosos nos locais onde os processos dinâmicos são mais intensos formando bancos, barras e planícies arenosas em áreas de acreção e assoreamento, ou seja, nas margens e meios de canais. Nessas áreas verifica-se o papel primordial da maré em todo o processo sedimentar dessa unidade, pois atua diariamente por meio da ocorrência de grandes canais de maré carreando uma grande quantidade de sedimentos para as porções mais internas da planície (SILVEIRA; SANTOS, 2006)

A Planície Costeira Amapaense foi subdividida em dois domínios geomorfológicos segundo suas características genéticas, tendo como referência o rio Araguari. Ao norte, essa unidade foi considerada como sendo de origem predominantemente marinha com regime de macro a mesomarés, enquanto que a sul, os processos fluviais foram considerados determinantes na sua evolução, apresentando essa região um regime de mesomarés (TORRES; EL-ROBRINI, 2006).

O setor à norte, em que a área de estudo está inserida, é também conhecida como zona costeira oceânica amapaense. Possui direção NW-SE e localiza-se entre a foz dos rios Oiapoque e Araguari, perfazendo uma extensão aproximada de 400 Km. Caracteriza-se por apresentar uma costa baixa, com largura variando de 10 a 120 Km, mais ou menos retilínea, com poucas reentrâncias, sendo o resultado de acreção, devido à sedimentação fina do Canal do Norte do rio Amazonas. Nesta área, os manguezais representam 76% (7.700 km<sup>2</sup>) do total da área de manguezais do país (HERZ, 1991). Esses manguezais

transicionam em direção ao interior para áreas mais baixas e alagadiças. (TORRES; EL-ROBRINI, 2006).

### **5.1 Aspectos da Geologia local**

De acordo com CPRM (2014) o rio Cunani está inserido no Domínio Lourenço, constituído por uma associação orogênica paleoproterozoica. Ao longo de seu curso, este rio corta as seguintes unidades estratigráficas (direção montante-jusante): Suíte Cricou (c1), Granodiorito Carnot e Granito Cunani.

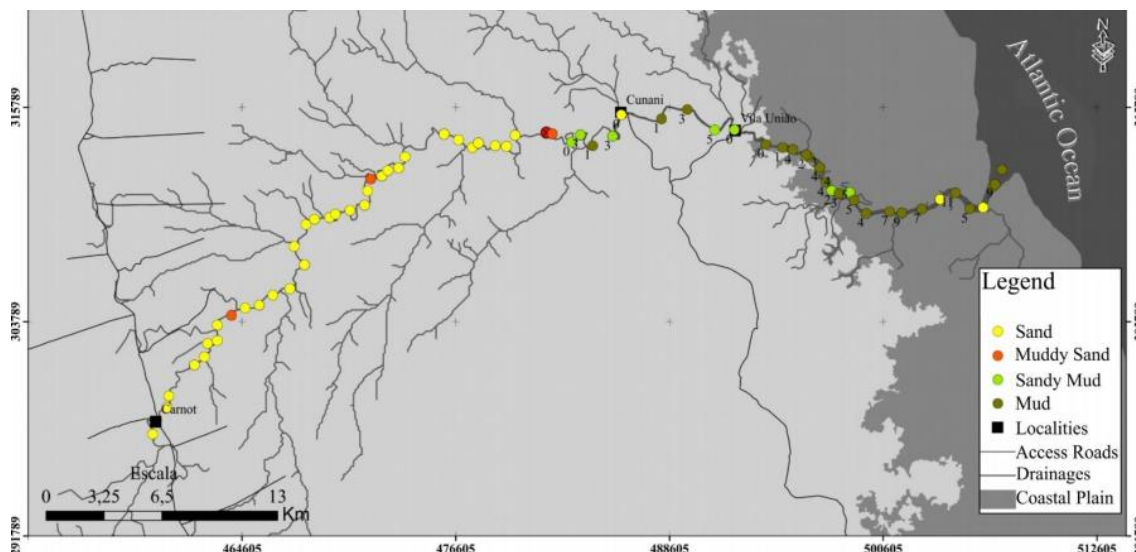
A Suíte Cricou (c1) é formada por gnaisses de composição granítica a quartzo diorítica, monzogranitos, granodioritos e microtonalitos, além de subordinados chanorquitos, sendo comum enclaves de anfíbolitos. Sua idade varia entre  $2113 \pm 3$  e  $2090 \pm 2$  Ma (Pb-Pb em zircão).

O granodiorito Carnot é formado por granodioritos e tonalitos com biotita e/ou hornblenda, subordinados biotita monzogranitos de granulação média a grossa com foliação magmática e presença localizada de enclaves máficos lenticulares.

O Granito Cunani foi assim denominado devido ao fato do rio homônimo atravessar essa unidade. É composto por biotita sienogranitos e monzogranitos de granulação grossa a média, textura inequegranular a porfirítica, com feições de fluxo magmático. Contém enclaves máficos. A idade varia entre  $2098 \pm 15$  Ma (U -P b ICP - MS em zircão) e  $2085 \pm 2$  Ma (Pb-Pb em zircão). Inclui granitos não mapeados de idade  $2059 \pm 2$  Ma (Pb-Pb em zircão).

O rio Cunani apresenta um padrão dendrítico de drenagem, conforme observado na figura 2. A amostragem de sedimentos realizadas a partir da Vila Carnot até a foz do rio por Silva et al. (2015), concluiu que ao longo do seu alto curso os sedimentos são compostos principalmente por areia, no médio curso por areia e areia-lamosa e no baixo curso do rio os sedimentos são predominantemente lamosos, com pequenas ocorrências de bancos de areia/areia-lamosa.

Figura 2: Padrão de drenagem dendrítica exibida pelo rio Cunani e também os tipos de sedimentos identificados ao longo do rio.

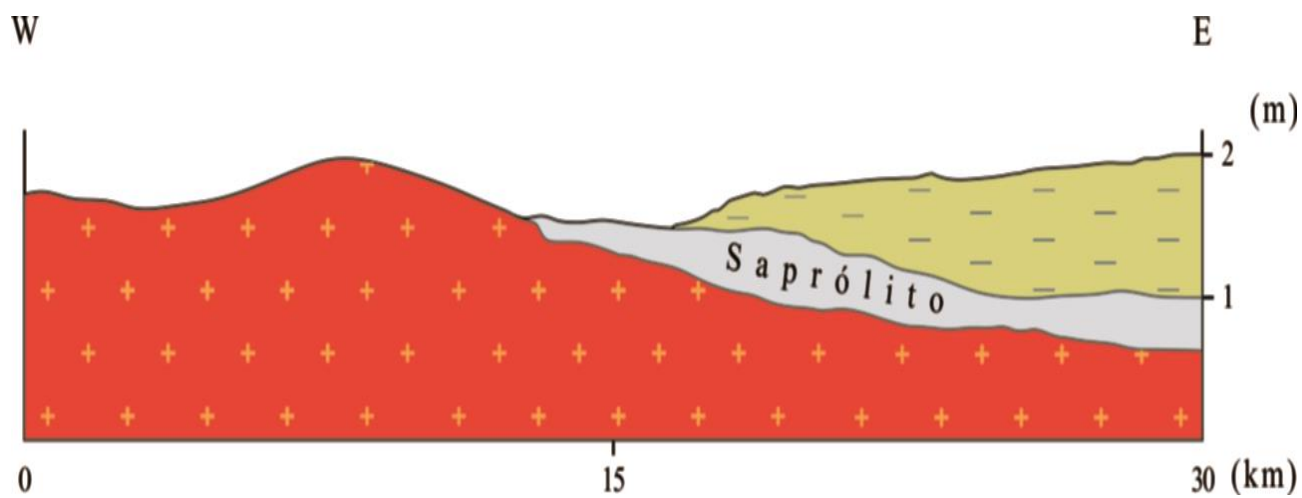


Fonte: Modificado a partir de SILVA et. al., 2015.

Não foram encontrados trabalhos petrográficos detalhados sobre as rochas aflorantes ao longo do curso do rio Cunani. Contudo, com base em informações de campo, foi elaborado um perfil a fim de melhor visualizar a relação entre as rochas do substrato do rio (graníticas), saprólito e lama.

As rochas graníticas observadas em campo possuem granulação média a grossa, são predominantemente compostas por quartzo, feldspato (plagioclásio e feldspato alcalino), muscovita e anfibólio e não apresentaram orientação preferencial. Essas rochas são cortadas, na maioria das vezes, por diques de diabásio. A exposição de rocha fresca diminui em direção a foz. A partir de um certo ponto é possível observar apenas a ocorrência de saprólitos. Os saprólitos são predominantemente argilosos, de coloração amarelo-esbranquiçada, com mosqueamento avermelhado devido à alteração do feldspato. Na proximidades da foz o saprólito dá lugar ao sediment lamoso. A ocorrência dos sedimentos lamosos foi observada até aproximadamente 18 km da foz não ultrapassando espessura de pouco mais de 1 (um) metro (Figura 3).




Figura 3: Perfil esquemático do baixo curso do rio Cunani com base em informações de campo



Sistema de Coordenadas Projetadas  
 WGS 1984 UTM Zona 22 Norte  
 Fonte de Dados:  
 IBGE - 2010  
 ZEE AP - 2010  
 Imagem LANDSAT OLIS ano 2013 (Glovis-USGS)  
 Composição RGB



### Legendas

-  Granitoides
-  Saprólito
-  Sedimentos lamosos

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6 PLATAFORMA AMAZÔNICA (PA)

Segundo Oliveira (1996) a distribuição superficial dos sedimentos na Plataforma Amazônica é formada por sedimentos terrígenos na plataforma interna e sedimentos carbonáticos em uma porção restrita da plataforma externa.

Gibbs (1973) apresentou mapas da distribuição das porcentagens de sedimentos finos e grossos na Plataforma Amazônica. Na parte interna da plataforma, a maioria das amostras foi caracterizada como material fino, com porcentagens maiores que 60%, ao contrário das representadas na parte externa, onde o sedimento fino constituiu aproximadamente menos de 10% e o material mais grosso mais de 80%.

Na PA a concentração de sedimentos em suspensão varia de 0,02g a 1g/L, de acordo com Torres (1997). Ainda segundo esse autor, aproximadamente 50% dos sedimentos em suspensão acumulados na plataforma amazônica formam um delta subaquoso e por volta de 15% é transportado para noroeste ao longo da costa do Amapá, apenas uma pequena quantidade de sedimento é transportado para o sudeste ou para o mar.

Siqueira et al. (2006) identificaram que os sedimentos componentes da plataforma do Amazonas são dominados pelas frações argila+silte (lama). Pereira et al. (2006), reconheceram nos sedimentos da PA, através de análises de raio X em lâminas orientadas, esmectita, caulinita, ilita e traços de clorita como os argilominerais dominantes. Lima et al. (2005) identificaram ainda nessa região, minerais pesados opacos (ilmenita, magnetita, óxido de Fe hidratado) e transparentes como hornblenda, hiperstênio, epídoto, turmalina, zircão, muscovite e silimanita, entre outros como constituintes dos sedimentos.

## 7 MATERIAIS E MÉTODOS

### 7.1 Materiais

Para a elaboração desse trabalho foram utilizadas amostras previamente coletadas na região do estuário do Rio Cunani, zona costeira Estado do Amapá, em uma das campanhas de campo do Projeto AMASIS (Integração de dados Geofísicos, Geológicos e Geoquímicos na Reconstituição da Paleogeografia da Costa Amazônica, do Terciário Recente) realizada em agosto de 2014. Foram coletadas um total de 91 amostras, divididas entre amostras de trados e de sedimentos de fundo.

As coletas dos sedimentos lamosos foram realizadas em condições de maré baixa, com testemunhador semicilíndrico de 3 cm de diâmetro. Foram coletados sedimentos de 8 trados de no máximo 70 cm de profundidade cada um ao longo de 15 km da região mais próxima a foz. Os trados foram devidamente numerados (TR 10; TR 11; TR 01; TR 12; TR 13; TR 15; TR 14 e TR 14A direção montante-jusante) e divididos em um conjunto de 5 amostras representativas de pequenos intervalos de profundidade dentro de cada trado, com exceção do trado 10 que tem 6 amostras.

Os sedimentos de trado foram o foco principal desse trabalho. Na tabela 1 encontra-se a identificação das amostras utilizadas em cada metodologia aplicada.

Table 1 Identificação das amostras utilizadas nesse trabalho

| Metodologia  | Amostras selecionadas  |
|--|--|
| Difração de raio X para amostra total                              | TR 01-01; TR 01-02; TR 01-03; TR 01-04; TR 01-05; TR 10-06; TR 10-07; TR 10-08; TR 10-09; TR 10-10; TR 10-11; TR 11-12; TR 11-13; TR 11-14; TR 11-15; TR 11-16; TR 12-17; TR 12-18; TR 12-19; TR 12-20; TR 12-21; TR 13-22; TR 13-23; TR 13-24; TR 13-25; TR 13-26; TR 14A-27; TR 14A-28; TR 14A-29; TR 14A-30; TR 14A-31; TR 14-32; TR 14-33; TR 14-34; TR 14-35; TR 14-36; TR 15-37; TR 15-38; TR 15-39; TR 15-40; TR 15-41. |
| Difração de raio-X para argilo-mineral/ Lâmina de Minerais Pesados | TR 01-01; TR 01-03; TR 01-05; TR 10-06; TR 10-09; TR 10-11; TR 11-12; TR 11-14; TR 11-16; TR 12-17; TR 12-19; TR 12-21; TR 13-22; TR 13-24; TR 13-26; TR 14A-27; TR 14A-29; TR 14A-31; TR 14-32; TR 14-34; TR 14-36; TR 15-37; TR 15-39; TR 15-40  |
| Análise Granulométrica   | TR 01-02; TR 01-04; TR 10-08; ; TR 10-10; TR 11-14; TR 11-16; TR 12-18; TR 12-20; TR 13-23; TR 13-25; TR 14A-28; TR 14A-30; ; TR 14-33; ; TR 14-35; TR 15-38; ; TR 15-40.  |

## 8 MÉTODOS

### 8.1 Análises Mineralógicas

#### 8.1.1 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 X'PERT PRO MPD, equipado com goniômetro PW 3040/60 (theta-theta) da PANalytical, com ânodo de cobalto ( $\lambda_{\text{CoK}\alpha 1} = 1,7 \text{ \AA}$ ), filtro  $\text{K}\beta$ , gerador de tensão de 40 kV e corrente de 30 mA. O intervalo de varredura foi de  $5^\circ$  a  $75^\circ 2\theta$ , com passo de  $0,02^\circ 2\theta$  e duração do passo de 5 segundos, aproximadamente. As amostras foram identificadas por difratometria pelo método do pó, para minerais totais e lâminas orientados para argilominerais. Para essa metodologia foram analisadas as 41 amostras de sedimentos lamosos.

Para minerais totais foram analisadas as 41 amostras dos sedimentos de trado. Na análise de lâminas orientadas através do método “*pipette-on-glass*” (THOREZ, 1976) para a caracterização dos argilominerais, foram selecionadas 3 amostras de cada trado, representativas das posições de topo, meio e base, num total geral de 24 amostras. Foram preparados três tipos de lâminas: orientada, glicolada e aquecida a  $550^\circ\text{C}$  por 2 horas. Os registros foram realizados no intervalo de  $5^\circ$  a  $65^\circ$ , com leituras de  $2^\circ$  para as amostras totais pulverizadas e no intervalo  $3^\circ$  a  $36^\circ$  para amostras de argilominerais.

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

Para essa metodologia foram selecionadas ao todo 29 amostras, 24 foram correspondentes aos sedimentos de trado e 5 aos sedimentos de fundo localizados a montante da área. As amostras de sedimentos lamosos analisadas foram as mesmas utilizadas para a identificação de argilominerais. Das 24 amostras, apenas 21 apresentaram quantidade de material suficiente para confecção de lâminas. As 5 amostras de sedimentos de fundo foram selecionadas com o objetivo de verificar se haveria variação e/ou contribuição mineralógica da montante para a jusante.

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  $50^\circ\text{C}$ . Do resíduo seco foram retirados aproximadamente seis gramas da fração granulométrica 0,125-

0,062mm (areia muito fina) que foram imersas em bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ), 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.

### 8.1.3 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 da Universidade Federal do Pará. A quantificação estatística foi feita através da contagem entre aproximadamente 200 a 600 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 de Petrografia Sedimentar da Universidade Federal do Pará.

### 8.1.4 Análise granulométrica

Para a análise granulométrica foram separados 2g de cada amostra, que foram imersas em peróxido de oxigênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) até a eliminação por completo da matéria orgânica. Em seguida a amostra foi seca a temperatura ambiente por 2 dias. Antes de serem analisadas, foi adicionado às amostras 10 ml de água e 5ml de pirofosfato de sódio, a fim de evitar a floculação das partículas mais finas.

O equipamento utilizado para as análises granulométricas consiste do granulômetro ANALYSETTE 22/FRITSCH, do LAMIGA (Laboratório de Mineralogia Geoquímica e Aplicações) pertencente ao Museu de Geociências da UFPA.

### 8.1.5 Análises Químicas Totais.

As análises químicas totais foram realizadas em amostra total para  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e elementos-traço, além da Perda ao Fogo ( $1000^\circ\text{C}$ ) realizadas no laboratório Acme Analytical Laboratory- Canadá, por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), segundo o método Codes Lithochem Standard Package e os padrões W2 E WHG-1.

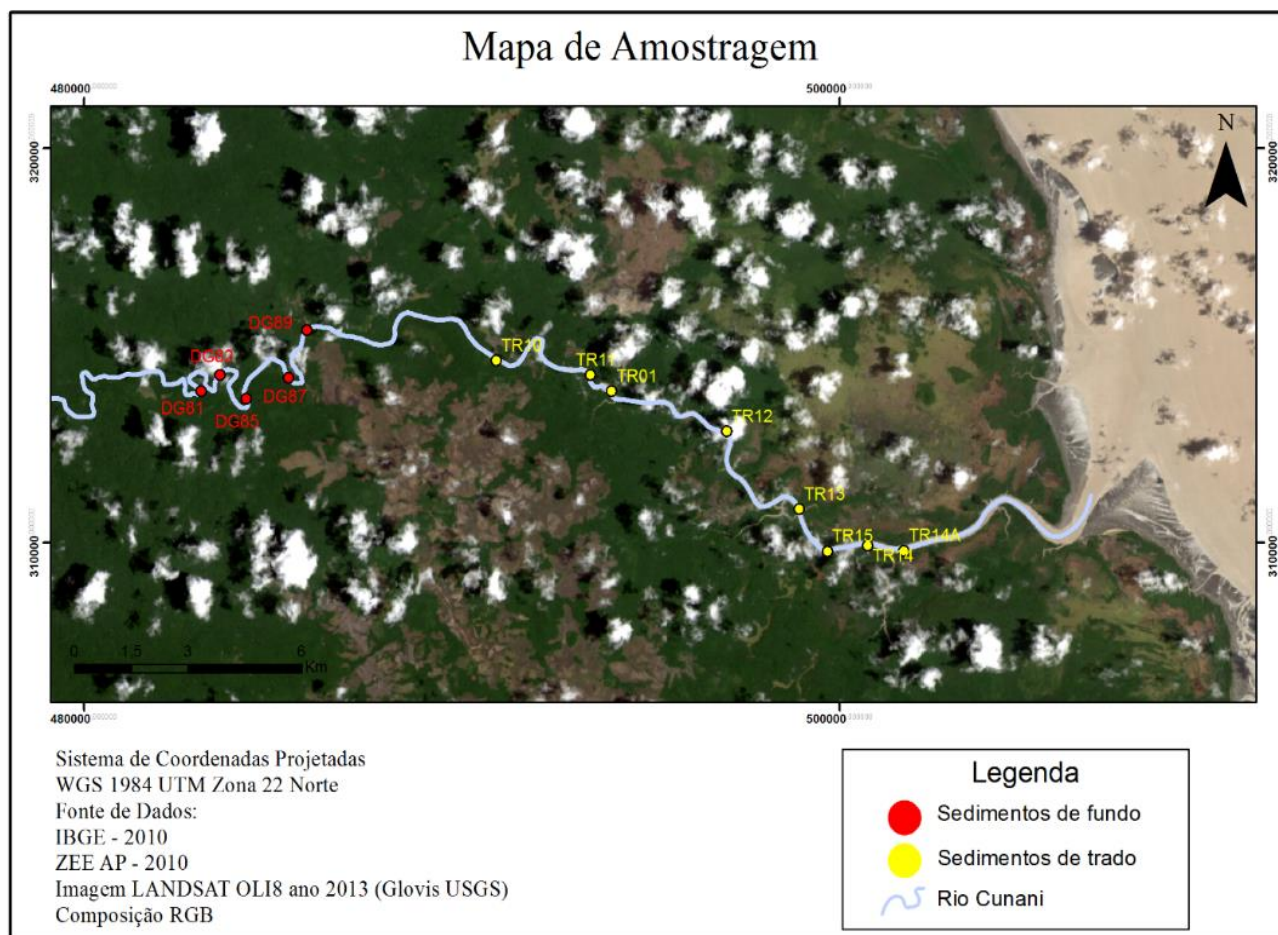
### 8.1.6 Coleta e análise de Salinidade, pH e Eh

As amostragens foram realizadas em período de maré baixa, em época de

estiagem (agosto 2014). A extração da água intersticial foi realizada por centrifugação do sedimento lamoso, sob alta rotação (5000 rpm). Utilizou-se um “glove-bag” para manusear o sedimento em atmosfera inerte de nitrogênio, bem como durante as medições físico-químicas, filtrações, preservação e condicionamento das amostras de água intersticial.

O mapa com a distribuição e identificação das amostras coletadas ao longo do rio Cuanani pode ser observado na figura 4. As amostras em cor vermelha representam os pontos de coleta de sedimentos de fundo e, em amarelo, os pontos coletados por tradagem.

Figura 4: Mapa de amostragem dos sedimentos de fundo e lamosos do rio Cuanani



Fonte: Elaborado pelo autor.

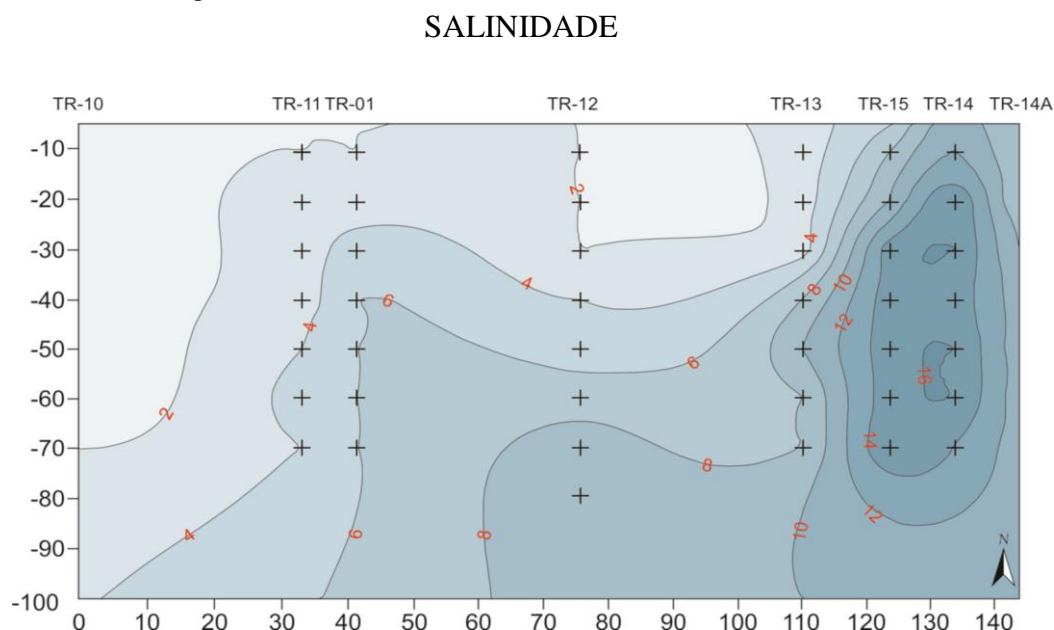
## 9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 9.1 Propiedades Físico-Químicas

#### 9.1.1 Salinidade

A salinidade intersticial dos sedimentos apresentou variações entre 2‰ a 16‰ (figura 5). Os menores valores foram encontrados nas proximidades da região situada à montante do rio, ocorrendo o aumento dos valores em direção a jusante. Os sedimentos dos trados 15, 14 e 14A apresentaram salinidade mais elevada (14‰ a 16‰) e, a partir do trado 13 a salinidade variou de intermediária a baixa. Uma estratificação dos valores de salinidade também pode ser observada. Com exceção dos trados 15, 14 e 14A, onde os valores são relativamente altos, em todas as profundidades analisadas, os demais trados exibiram salinidade mais alta nos sedimentos coletados a partir de 50 cm de profundidade.

Figura 5: Gráfico mostrando a variação da salinidade intersticial nos sedimentos lamosos do rio Cunani. Eixo X- profundidade. Eixo Y- Distância em metros entre os trados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A água do mar possui valores de salinidade que podem variar de 33‰ a 37‰ sendo seu valor médio 35‰ (GONÇALVES, 2009). As águas provenientes dos rios possuem salinidade próximas a zero. A mistura dessas águas cria um ambiente de salinidade intermediária, tanto em águas superficiais como nos sedimentos (salinidade intersticial). A influência das águas oceânicas é observada ao longo de toda a região de amostragem, sendo mais forte na região próxima à foz, onde são observados os maiores valores de salinidade. A diminuição desse parâmetro em direção à montante é resultante

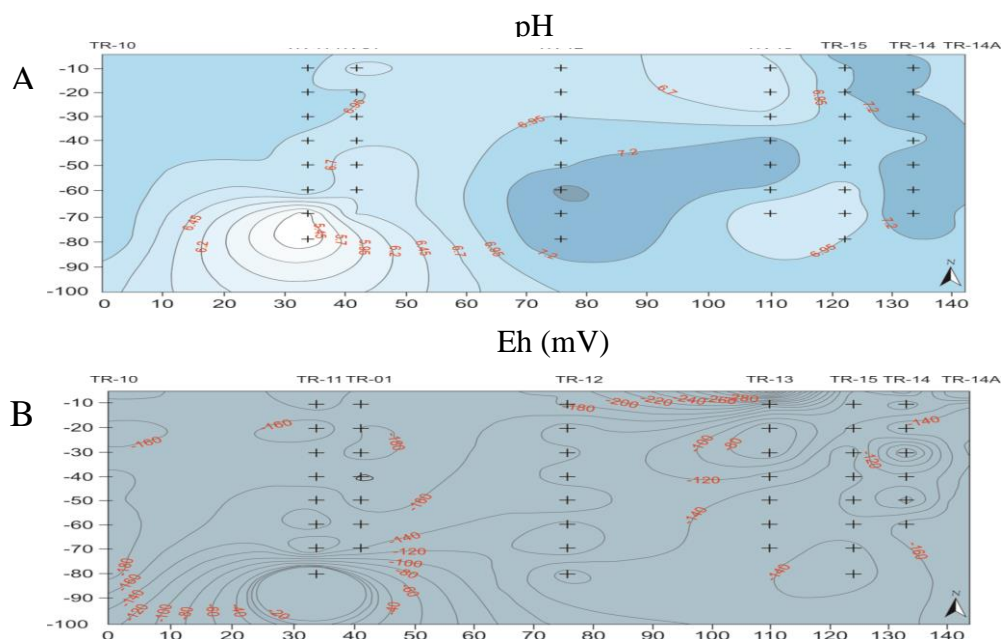
principalmente da redução da influência da maré em decorrência do aumento do aporte fluvial. O gráfico também permite delimitar a zona de intrusão salina.

Como resultado da intrusão salina, os sedimentos da base da coluna sedimentar e mais próximos a foz, exibem maiores valores de salinidade do que aqueles observados em sedimentos superficiais, formando assim uma estratificação vertical. A água salgada (oceânica), por ser mais densa que as águas do rio, entra no estuário em direção à montante por debaixo das águas doces (fluviais), o que justifica em muitos casos a existência da estratificação salina vertical (CANCINO; NEVES, 1999 *apud* GONÇALVES, 2009). Segundo Xavier (2012) a variação da salinidade nas águas intersticiais demonstra os efeitos da evapotranspiração somados ao período de estiagem (junho a dezembro), com temperaturas elevadas e baixos índices pluviométricos, fatores que diminuem a vazão do rio e possibilitam o aumento da influência oceânica observada através da presença da cunha salina intersticial no estuário.

### 9.1.2 pH/Eh (mV)

As isolinhas mais frequentes no gráfico de Eh variaram entre -160 a -120 mV, abrangendo, assim, grande parte da área estudada (Figura 6B). Nos sedimentos mais superficiais, localizados mais a jusante ocorrem os menores valores variando de -280 a -200 mV e na porção inferior esquerda localizam-se os maiores valores para Eh (-60 à -20).

Figura 6: Gráficos de pH e Eh (mV) intersticiais. Figura 6A: Gráfico mostrando a variação de pH ao longo do rio. Na região da foz encontram-se os maiores valores que diminuem gradualmente em direção a montante. Figura 6B: Gráfico da variação das condições oxi-redutoras na região estudada.



Em relação ao pH, os valores observados variaram de ácidos a levemente alcalinos (5,45 a 7,2), predominando os valores levementes alcalinos. O maior valor de pH amostrado (7,2), foi registrado na região onde a interação continente-oceano é dominada por processos marinhos. O menor valor para esse parâmetro (5,45) foi encontrado na base da coluna sedimentary, na região à montante do rio (Figura 6A).

Dois fatores influenciaram os valores de pH e Eh: permeabilidade e circulação de água. O tamanho dos grãos afeta a permeabilidade, que por sua vez influencia a quantidade disponível de oxigênio nos sedimentos. O oxigênio nos sedimentos é utilizado pela respiração dos animais e, mais importante, pelas bactérias.

Abaixo da superfície dos sedimentos não há luz e, portanto não há fotossíntese, de modo que a infauna depende da circulação da água através dos sedimentos para reabastecer seu suprimento de oxigênio. A circulação de água através de sedimentos finos é muito lenta e restrita em oxigênio. Assim os fundos lamosos têm um duplo problema. Primeiro eles têm mais material orgânico para decompor e usar oxigênio. Segundo, o fluxo de água que traz mais oxigênio é reduzido. Exceto pelos primeiros centímetros de lama, a água intersticial é cada vez mais deficiente em oxigênio a medida em que se aumenta a profundidade, (CASTRO; HUBER, 2012).

Os sedimentos estudados são compostos predominantemente pelas frações silte + argila. No entanto, na região mais próxima a foz, um pequeno aumento na quantidade de areia foi observado. Por apresentarem baixa permeabilidade e porosidade, a percolação e circulação de água nos sedimentos a montante ocorre bem lentamente; o pouco oxigênio disponível é utilizado por bactérias na decomposição da matéria orgânica, tornando o ambiente pobre em oxigênio. Essa deficiência em oxigênio diminui o pH e aumenta a capacidade redutora do ambiente. Por essa razão os valores mais baixos de pH e mais altos na região a montante.

Na região próxima à foz os sedimentos apresentaram um pequeno aumento na quantidade de areia, o que permitiu melhor percolação e circulação da água por entre os grãos dos sedimentos, tornando o ambiente mais oxidado, aumentando, assim, o pH. A maior influência de águas oceânicas (que são naturalmente mais oxidantes do que as águas fluvias) nesses sedimentos, também contribuiu para a oxidação do ambiente. Devido a esses fatores, foram encontrados nas proximidades da foz pH's mais alcalinos

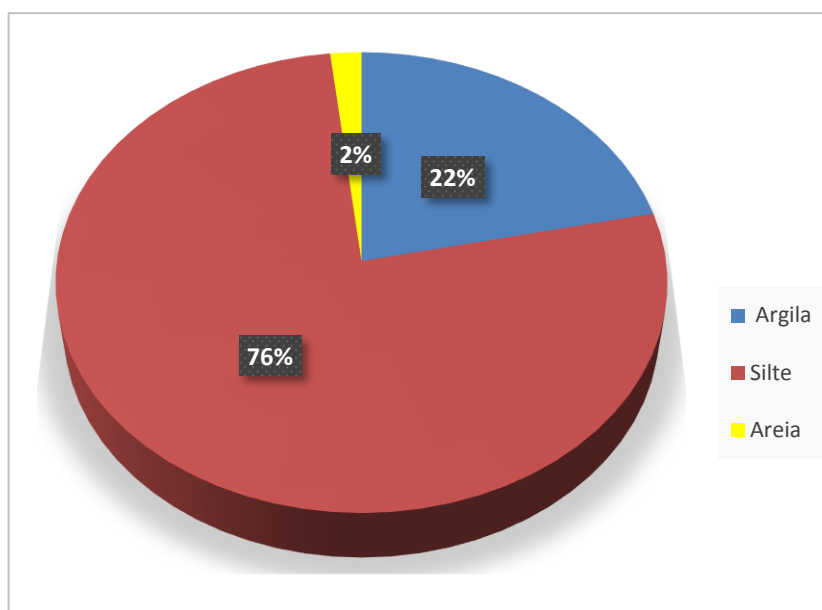
(6,7-7,2) e valores de Eh entre -160 mV - -280 mV.

Os valores de pH/Eh (mV) exibidos pelos sedimentos do rio Cunani, confirmaram o esquema de circulação das águas, representando papel essencial na distribuição das condições oxido redutoras e no acúmulo e decomposição da matéria orgânica.

## 10 GRANULOMETRIA

Para a análise granulométrica foram selecionadas duas amostras representativas de cada testemunho (topo e base). De maneira geral os sedimentos são predominantemente siltosos. A fração pelítica ( $< 0,062$  mm) é dominante perfazendo 98%; os 2% restantes são representados pela fração areia muito fina (0,125 a 0,0062 mm). Conforme a figura 7 a fração silte representa 76%, a fração argila 22% e a fração areia (2%).

Figura 7: Representação da distribuição granulométrica identificada nos sedimentos estudados



Fonte: Elaborado pelo autor.

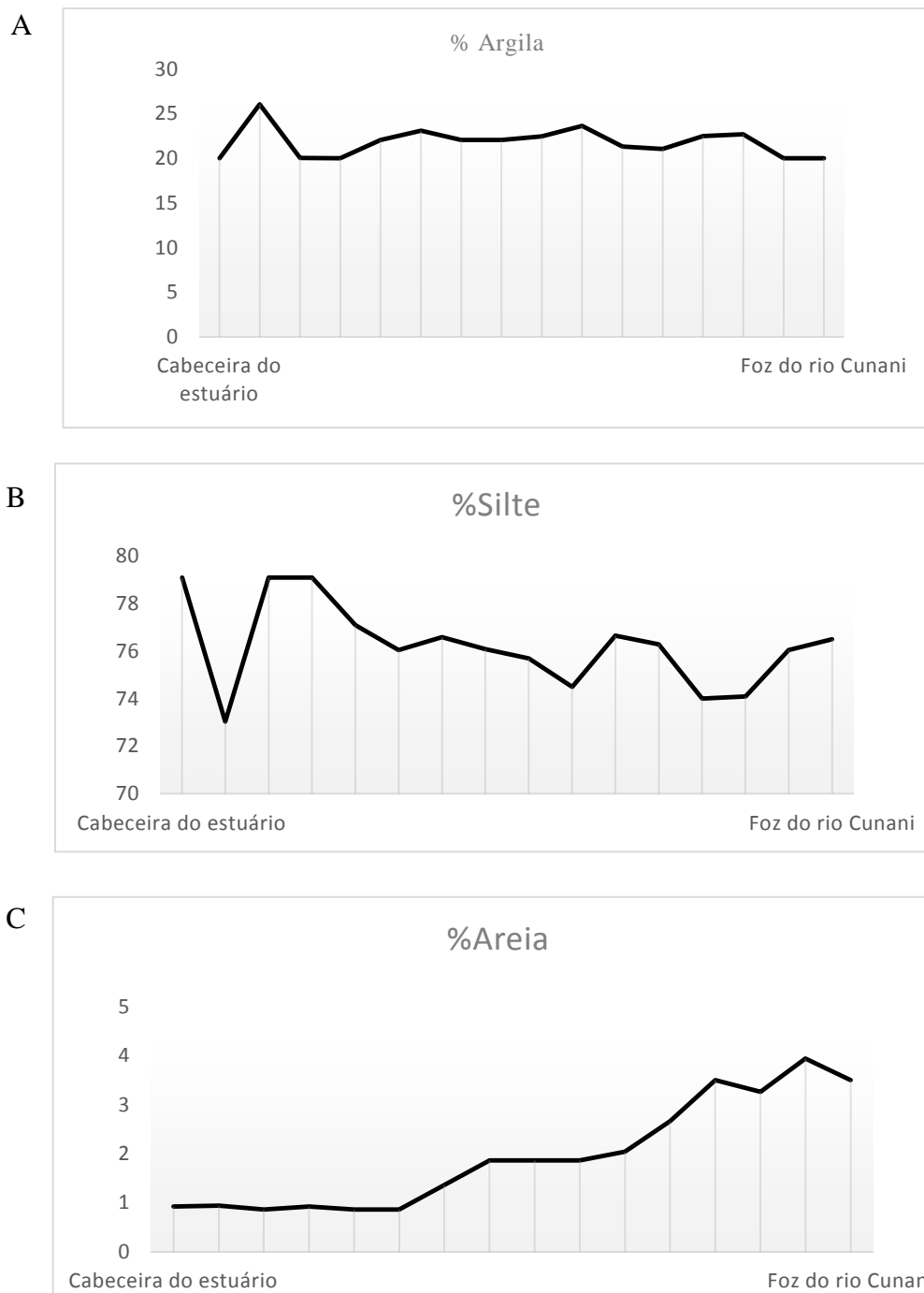
Com base na tabela 2 os trados localizados à montante do rio (TR1, TR10 e TR 11) contêm uma proporção de areia que varia entre 0,86-0,94%. Nos trados intermediários (TR 12 e TR 13) a porcentagem de areia registrada situa-se entre 1,36-1,86 % e nos trados 15, 14 e 14A foram encontradas as maiores porcentagens de areia variando entre 2,04-3,94%. Esse aumento na proporção de areia deve resultar do aumento do grau de influência da maré exercida nessa região. Em relação à profundidade as proporções de argila, silte e areia permaneceram praticamente constantes.

Tabela 2: Valores percentuais da distribuição granulométrica de parte das amostras analisadas. Intervalos das frações granulométricas de acordo com a escala de WENTWORTH (1922): areia muito fina – 0,125-0,062mm; silte – 0,062mm-4 $\mu$ ; argila – < 4 $\mu$ m

| Amostras  | % Argila | %Silte | %Areia |
|-----------|----------|--------|--------|
| TR 01/02  | 20,05    | 79,09  | 0,86   |
| TR 01/04  | 20       | 79,09  | 0,92   |
| TR 10/8   | 20       | 79,09  | 0,92   |
| TR 10/10  | 26,03    | 73,03  | 0,94   |
| TR 11/14  | 22,05    | 77,09  | 0,86   |
| TR 11/16  | 23,09    | 76,05  | 0,86   |
| TR 12/18  | 22,05    | 76,59  | 1,36   |
| TR 12/20  | 22,05    | 76,09  | 1,86   |
| TR 13/23  | 22,45    | 75,69  | 1,86   |
| TR 13/25  | 23,64    | 74,5   | 1,86   |
| TR 14/33  | 21,31    | 76,65  | 2,04   |
| TR 14/35  | 21,05    | 76,29  | 2,66   |
| TR 14A/28 | 22,5     | 74     | 3,5    |
| TR 14A/30 | 22,7     | 74,09  | 3,26   |
| TR 15/38  | 20,01    | 76,05  | 3,94   |
| TR 15/40  | 20       | 76,5   | 3,5    |
| Média     | 21,8     | 76,2   | 2,0    |

A variação da concentração das frações argila, silte e areia ao longo da área de estudo está representada na figura 8. As concentrações de argila sofrem pequenas variações na parte mais à montante do rio, onde ocorre um aumento dos teores, e logo após, diminuição, permanecendo, então, sem grandes alterações (figura 8A). O silte é a fração dominante e apresenta, também, pequenas alterações ao longo da área estudada (figura 8B). O conteúdo de areia aumenta em direção à foz do rio (figura 8C), o que sugere mudanças nas condições hidrodinâmicas (aumento da velocidade das ondas, da corrente de maré, etc.

Figura 8: Gráficos de variação na concentração de argila, silte e areia ao longo da região estudada. A) Gráfico mostrando a variação da quantidade de argila ao longo do rio. B) variação na quantidade de silte. C) Variação na distribuição de areia ao longo do baixo curso do rio Cunani.



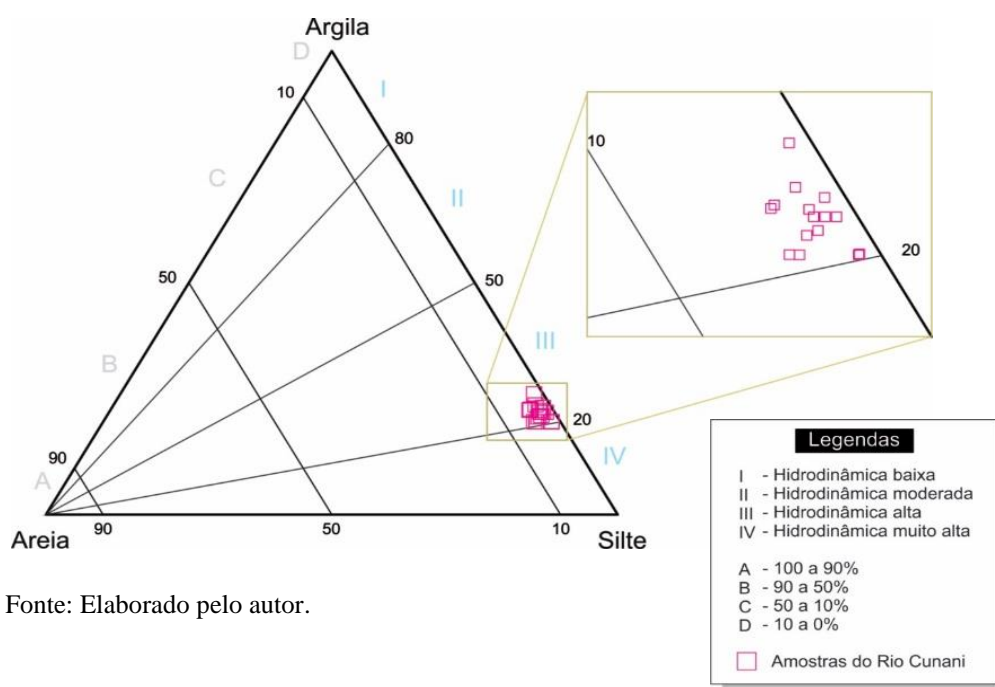
Fonte: Elaborado pelo autor.

Pejrup (1988) propôs um novo diagrama triangular para a classificação de sedimentos estuarinos. Nesse diagrama, além de caracterizar texturalmente os sedimentos com base na proporção de areia, é possível, ainda, determinar as condições hidrodinâmicas atuantes durante o processo de deposição dos sedimentos. Assim sendo, no diagrama da figura 9 as letras representam a caracterização textural dos sedimentos (A a D) e os números representam as condições hidrodinâmicas (I a IV). O número I corresponde a condições hidrodinâmicas mais baixas, aumentando gradualmente em direção ao IV.

Vale a pena ressaltar que o termo “condições hidrodinâmicas” utilizado por Pejrup (1988) se refere aos efeitos de velocidade de corrente, turbulência de ondas e profundidade, não devendo ser associado com os valores específicos dos números de Reynald e Froude. Vários trabalhos foram realizados em estuários, lagos e lagoas, destaque para Ivanoff et al., 2012; Ivanoff et al. (2014); Schettini (2010) e Côrrea (2005), com o objetivo de estudar a dinâmica dos sedimentos, e fazendo uso do diagrama proposto por Pejrup (1988), concluindo que o mesmo foi muito útil para o alcance dos objetivos propostos.

As amostras estudadas neste trabalho encontram-se plotadas no campo III-D do diagrama o qual se refere a sedimentos com baixa ou nenhuma quantidade de areia (0-10%) e pertencentes a ambientes com hidrodinâmica alta, devido a elevada presença de sedimentos siltosos e baixa presença de argila.

Figura 9: Diagrama segundo Pejrup (1988) com plotagem das amostras estudadas concentradas no campo referente a ambientes com alta energia hidrodinâmica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As amostras do rio Cunani são compostas por sedimentos siltosos, enquadrados no diagrama de Pejrup (1988) no grupo III-D, que confirma a deposição em ambientes com hidrodinâmica elevada, o que dificulta Segundo CORRÊA, 2005 a deposição de argila e favorece a deposição de sedimentos siltosos.

A reduzida concentração de argilas sugere que nesse ambiente a ação dos ventos sobre a superfície d'água pouco profunda induz à formação de ondas e correntes que remobilizam o fundo em períodos com ventos de maior intensidade, mantendo em suspensão grande parte da carga de sedimentos finos.

## 11 MINERALOGIA

### 11.1 Descrição Minerais Pesados

Os minerais pesados identificados nesse trabalho, foram agrupados de acordo com a classificação de Pettijohn et al., (1973), que classifica os minerais conforme o grau de estabilidade.

O primeiro grupo a ser descrito é composto pelos minerais ultra estáveis, formado por zircão, rutilo e turmalina. Esses minerais ocorrem nas duas regiões estudadas, sendo sua concentração dominante nos sedimentos de fundo.

#### 11.1.1 Minerais Ultra Estáveis

**Zircão** ( $ZrSiO_4$ )- em sua maioria os grãos assumem formas euédricas, com terminações bipiramidais. Em alguns grãos é possível ver o zoneamento interno e, também, inclusões minerais (Figura 10A). Possuem bordas enegrecidas variam de levemente fraturados a moderadamente fraturados, e alguns possuem a superfície bem destruída. Apresentam coloração esverdeada, amarelada e incolor. Ocorre nas lâminas de maneira restrita. Caracterizam-se por apresentarem relevo muito alto, extinção reta, alta birrefringência e cor de interferência e alongação positiva.

**Turmalina** ( $Na(Mg,Fe,Li,Mn,Al)_3Al_6(BO_3)_3Si_6$ )- Esse mineral ocorre predominantemente na cor verde, onde apresenta forte pleocroísmo variando de verde-claro a um verde bem escuro. Pode ocorrer também na cor rosa com pleocroísmo variando de rosa claro a rosa escuro. Ocorre predominantemente sob a forma de grãos arredondados, ocorrendo de maneira subordinada grãos prismáticos subédricos. Perfaz nos sedimentos lamosos 3% e nos sedimentos de fundo (1%). (Figura 10B).

**Rutilo** ( $TiO_2$ )- É um mineral que ocorre em pequenas proporções tanto nos sedimentos lamosos (2%) quanto nos sedimentos de fundo (6%). Apresenta-se na forma de grãos subarredondados a arredondados nas tonalidades que variam de marrom-avermelhado a amarelo-amarronzado, apresentam leve pleocroísmo variando de tons amarelados a tons avermelhados e relevo elevado. (Figura 10C)

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 10: Grãos de minerais ultra estáveis identificados nos sedimentos do rio Cunani. A) Grãos de zircão. Observa-se a dominância de grãos bipiramidais euédricos. Grãos subarredondados ocorrem subordinadamente. Os grãos podem apresentar inclusões minerais. B) Grãos de turmalina. As formas subarredondadas são dominantes, ocorrendo porém, em quantidades menores, grãos subédricos. Grãos de coloração verde e rosa foram identificados. C) Grãos de rutilo ocorrendo predominantemente sob a forma arredonda. Alto relevo e alta cor de interferência são características marcantes desse mineral



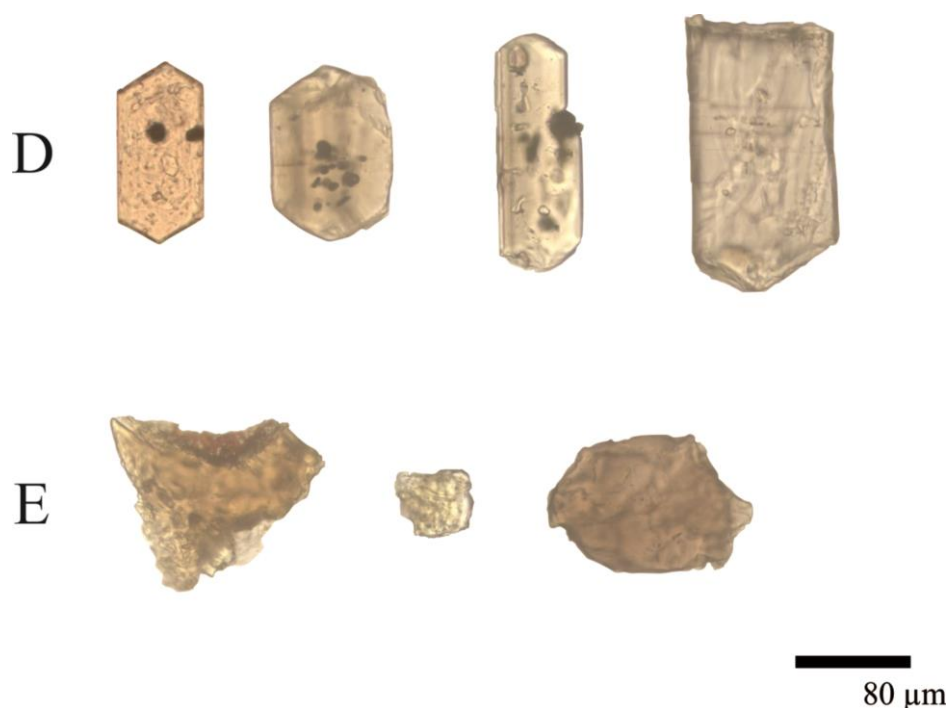
Fonte: Elaborado pelo autor.

## 11.2 Minerais Estáveis e Moderadamente Instáveis

**Apatita**( $\text{Ca}(\text{PO}_4)(\text{F},\text{OH},\text{Cl})$ )- Mineral moderadamente instável, identificado apenas nos sedimentos lamosos, em pequenas concentrações, não chegando a ultrapassar 1%. Ocorre sob a forma de grãos hexagonais bipiramidais euédricos a subédricos (figura 11D). Pode ocorrer grãos de coloração amarelada a incolor. A cor amarela pode ser resultado da presença de manganês, óxidos e/ou hidróxidos de ferro ou elementos Terras Raras. 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.

**Estauroлита**  $(\text{Fe,Mg})_2(\text{Al,Fe})_9\text{O}_6$ . É um mineral estável e está presente apenas nos sedimentos lamosos com concentração de 5%. Ocorre preferencialmente como grãos irregulares, angulosos a subangulosos (figura 11E). Apresenta além de bordas corroídas evidenciando corrosão por dissolução química. As cores desse mineral variam de amarelo claro a amarelo amarronzado.

Figura 11: Minerais pesados moderadamente estáveis. D) Grãos euédricos a subédricos de apatita. Apresentam na maioria das vezes inclusões de minerais opacos. E) Grãos angulosos e escamosos de estauroлита



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 11.2.1 Minerais Instáveis

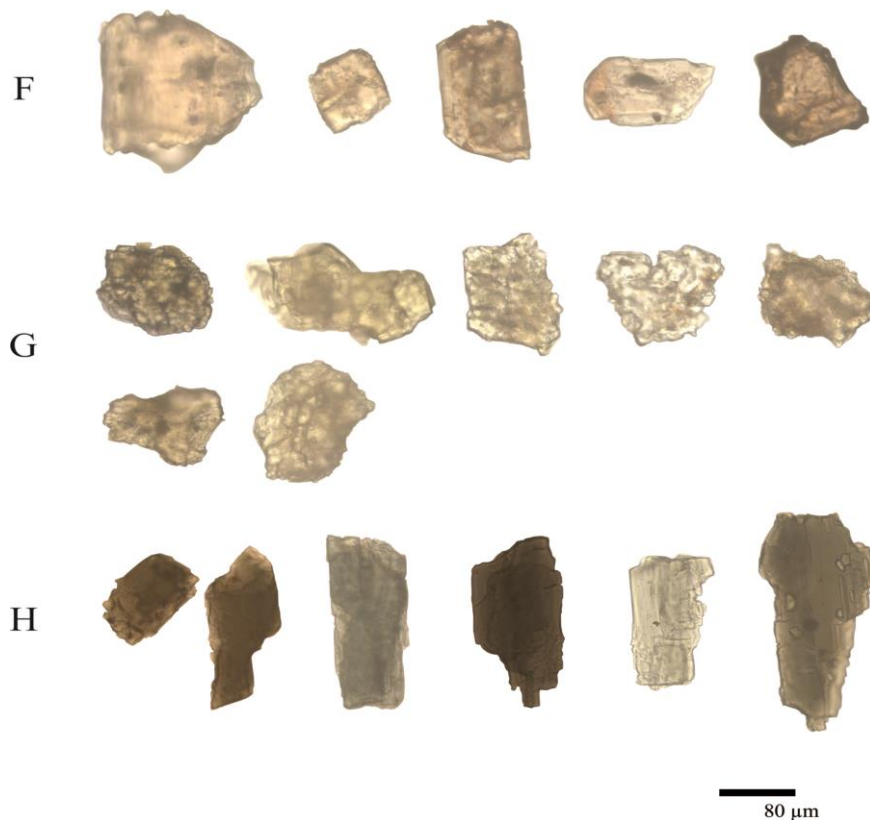
**Andaluzita**  $(\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4])$ -Mineral presente apenas nos sedimentos lamosos com proporções médias de 2%. Exibe fraco pleocroísmo, variando de incolor a rosa claro, apresentando grãos angulosos a subangulosos, também ocorre como prismas subédricos (figura 12F).

**Epídoto**  $(\text{CaFeAl}_2\text{O.OH}(\text{Si}_2\text{O}_7)[\text{SiO}_4])$ - Este mineral é bem abundante e frequente, ocorrendo na forma de grãos que apresentam hábito prismático e variam de angulosos a arredondado (figura 12G). Em sua maioria, os grãos possuem formas irregulares, estão levemente fraturados e com suas superfícies bem destruídas; apresentam bordas

irregulares, serrilhadas e extinção inclinada. Apresentam coloração verde amarelada a amarelada, e fraco pleocroísmo. Muitos grãos mostram alterações superficiais, possivelmente por dissolução, o que confere ao grão um aspecto escamoso. Caracteriza-se por apresentarem relevo alto, alongação negativa, cores de interferências altas (final de 2ª e início da 3ª), extinção inclinada.

**Hornblenda** ( $\text{Ca}_2(\text{Fe},\text{Mg})_4\text{AlSi}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$ )- Este mineral é bem abundante e frequente ocorrendo na forma de grãos que apresentam hábito prismático e variam de subangulosos a subarredondados, sendo que a maioria possui bordas irregulares e serrilhadas e possíveis inclusões de minerais opacos; em alguns grãos consegue se visualizar uma direção de clivagem na seção longitudinal, possuem relevo moderado e coloração variando de verde escuro a verde claro e em menor quantidade ocorre, também, hornblendas de cor marrom, sendo que todas apresentam pleocroísmo moderado (figura 12H). Caracteriza-se por apresentarem relevo moderado, alongação positiva, extinção inclinada (aproximadamente  $17^\circ$ ), cor verde.

Figura 12: Minerais instáveis. F) Grãos subédricos e subangulosos de andaluzita. Com coloração rosada. G) Grãos anédricos e angulosos de epidoto. H) Grãos subédricos de hornblenda. Esse mineral ocorre nas cor verde e também pode apresenta-se incolor.

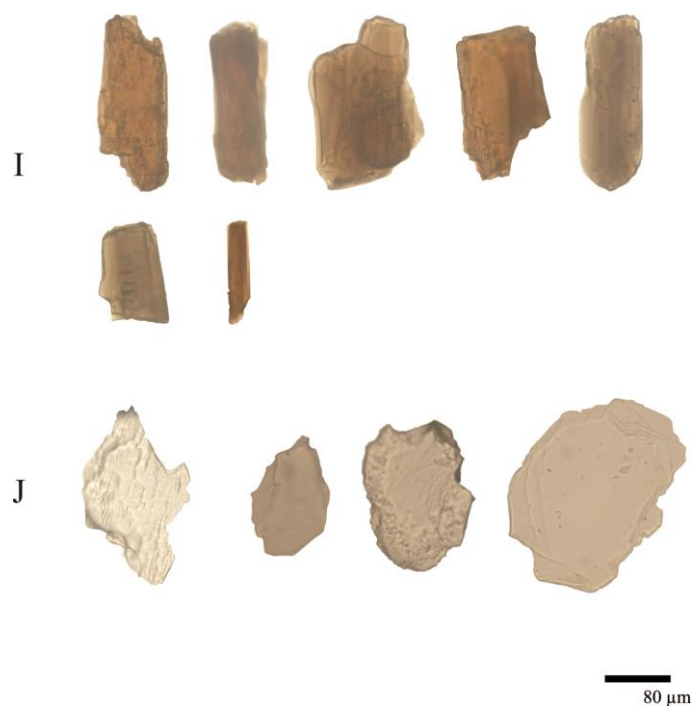


Fonte: Elaborado pelo autor.

**Topázio** ( $\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4](\text{F},\text{OH})_2$ ) - Mineral presente nos dois sedimentos encontrados. Nos sedimentos lamosos perfaz cerca de 11% e nos sedimentos de fundo cerca de 7%. Ocorre na forma de grãos incolores, anédricos e variando de angulosos a subangulosos (figura 13I), podem apresentar bordas corroídas e alguns estão levemente fraturados, possuem relevo baixo.

**Ortopiroxênio** ( $(\text{Fe},\text{Mg})_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$ ) - Mineral presente apenas nos sedimentos lamosos, pouco abundante com concentração média de 3%; apresenta-se na forma de grãos prismáticos, subédricos e, na maioria das vezes subangulosos; os grãos encontrados são predominantemente marrons, pleocróicos com coloração variando entre marrom escuro a marrom claro e possuem extinção reta (figura 13 J).

Figura 13 Grãos instáveis. I) Grãos de ortopiroxênio subédricos de hábito prismático e cor marrom. J) Grãos incolores e anédricos de topázio



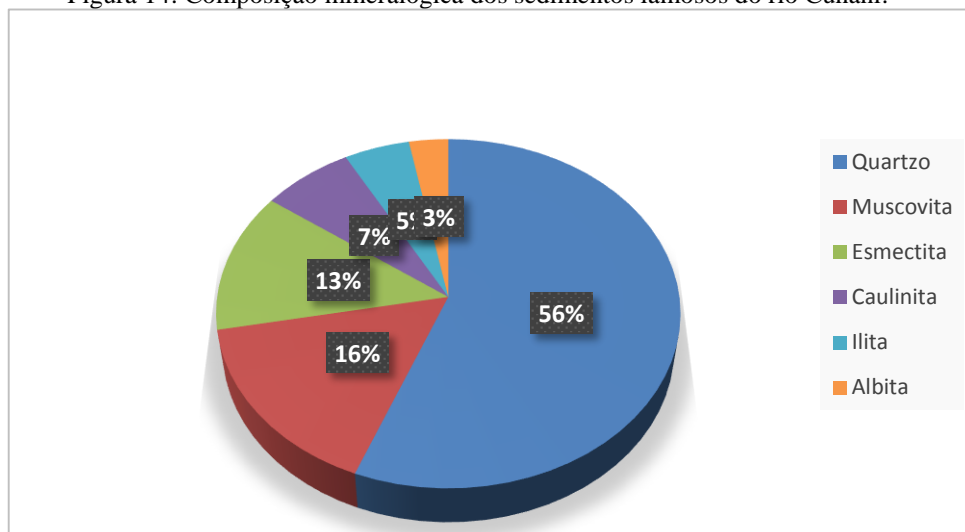
Fonte: Elaborado pelo autor.

## 11.3 Mineralogia Total

### 11.3.1 Minerais detríticos leves

A composição dos sedimentos lamosos do rio Cunani é extremamente homogênea constituída por: quartzo (56%), muscovita (16%), esmectita (13%), caulinita (7%), illita (5%), albita (3%). Na figura 14 observa-se os percentuais desses minerais.

Figura 14: Composição mineralógica dos sedimentos lamosos do rio Cunani.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 11.3.1.1 Descrição dos minerais detríticos leves

##### 11.3.1.1.1 Quartzo

É o mineral mais abundante, tendo sido identificado em todas as frações granulométricas estudadas. Nas análises de raio-X os grãos de quartzo apresentaram elevado grau de cristalinidade, comprovados pela intensidade dos picos observada em todos os difratogramas para amostra total (figura 15).

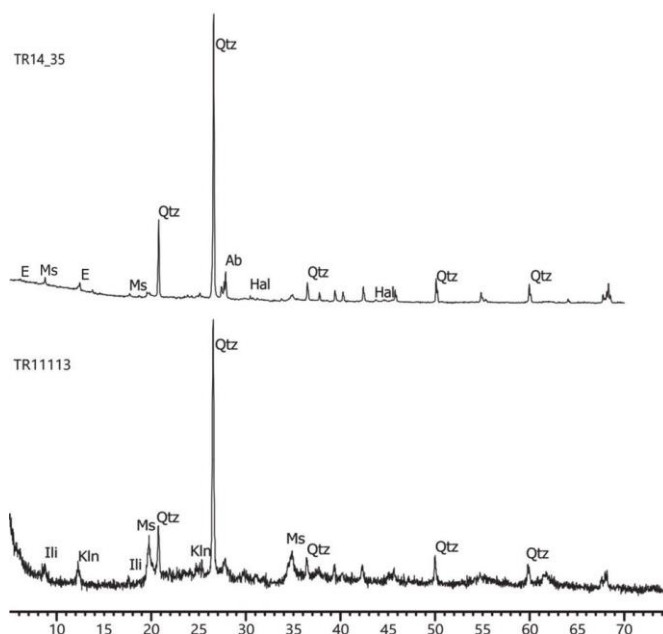
##### 11.3.1.1.2 Feldspatos

Identificado nos sedimentos foi somente a albita. Apresenta picos de baixa intensidade, identificado através da reflexão de  $3,2\text{\AA}$  (figura 15). Aparecem geralmente como grãos subarredondados e/ou desgastados.

### 11.3.1.1.3 Muscovita

A muscovita é um mineral relativamente frequente nos sedimentos da costa do Amapá. Está presente em todos os difratogramas (figura 15). Mostra-se sob a forma de grãos subangulosos a angulosos, de hábito placoso. Além da muscovita, ainda é possível identificar a ocorrência de halita em quantidades traço, ocorrendo apenas em uma amostra, localizada às proximidades da foz do rio.

*Figura 15 Difratogramas das amostras mais representativas da mineralogia identificada nos sedimentos do rio Cunani por difração de raio-X para amostra total. E-Esmectita; Ms-Muscovita; Qtz-quartzo; Ab-Albita; Hal-Halita; Kln-Caulinita; Ili-Ilita*



Fonte: Elaborado pelo autor. **argilominerais**

### 11.4.1 Esmectita (E)

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. O mineral é caracterizado pela reflexão de maior intensidade entre 14 – 15 Å em amostras orientadas. Quando submetida ao tratamento com etilenoglicol as reflexões deslocam-se entre 16,8 e 17,1 Å, após aquecimento os picos voltam a estar entre 14-15 Å. Dentre os argilominerais é o mais abundante (figura 16). . A presença de picos largos sugere a ocorrência de interstratificados S-Cl (esmectita-clorita).

#### 11.4.2 Caulinita (Kln)

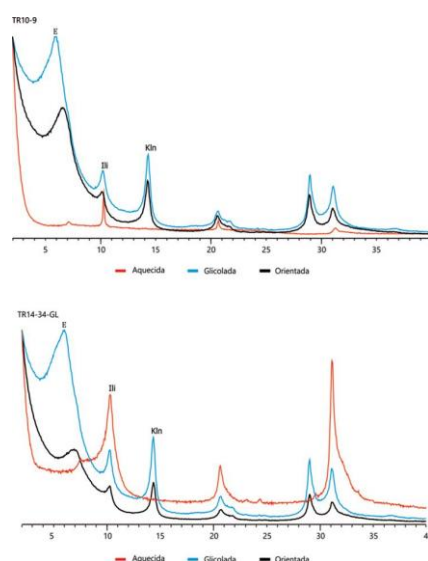
A caulinita foi identificada através das reflexões em 7,1 Å (001) e 3,57 Å (002) (figura 16). É um mineral estável sob glicolação. Depois de aquecida (550 °C por 2h) o pico mais intenso (001) desaparece, sendo essa uma das principais características que permitem a identificação desse mineral.

#### 11.4.3 Ilita (Ili)

A ilita foi identificada pelas reflexões em 10 Å, 5 Å e 3 Å. Os picos tornam-se levemente mais fechados e característicos quando submetida ao tratamento por etilenoglicol (figura 16). Segundo Scapin (2003), o grupo da ilita é formado pelo desgaste de silicatos (principalmente feldspato), pela alteração de outros minerais argilosos e degradação da muscovita, favorecida por condição alcalina e alta concentração de alumínio e potássio.

A distribuição dos argilominerais também é uniforme por toda a extensão da área de estudo, variando apenas a sua concentração em relação aos minerais totais. Assembleias similares de argilominerais foram encontradas nos sedimentos de fundo em outras regiões da costa do Amapá (MENDES, 1994), nos Canais Norte e Sul do Rio Amazonas (TORRES, 1997) e nos sedimentos de fundo do rio Araguari (TEIXEIRA, 2013). Segundo Mendes (1994) e Teixeira (2013), essa assembleia mineralógica 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 fanerozoicas.

Figura 16 : Difratomogramas representativos dos argilominerais identificados nos sedimentos lamosos do rio Cunani. E-esmectita; Kln-Caulinita e Ili-Ilita.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 11.5 MINERAIS PESADOS

Os minerais pesados estão concentrados nas frações areia média a muito fina (0.250-0.125 mm), nos sedimentos de fundo e areia muito fina (0.125-0.062 mm) nos sedimentos de trado, variando de 0,5%-1,0% nas amostras coletadas. Observou-se, porém, que a melhor distribuição desses minerais encontra-se na fração areia muito fina e por isso o estudo foi condicionado especificamente a essa fração

A análise das lâminas indicou a ocorrência de 10 tipos diferentes de minerais pesados transparentes, à saber: hornblenda, epidoto, topázio ocorrendo amplamente em quase todas as lâminas e andaluzita, estaurolita, apatita, zircão, turmalina, rutilo e hiperstênio ocorrendo de forma mais restrita.

Para a classificação dos minerais pesados, foi adotado nesse trabalho o modelo proposto por Pettijohn et. al. (1973), onde os minerais 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 depende diretamente das características físico-químicas de cada ambiente e não somente da espécie mineral em questão.

Table 3: Estabilidades químicas relativas de alguns dos minerais pesados.

| Estabilidade           | Minerais  |
|------------------------|---|
| Muito estável          | Olivina   |
| Instáveis              | Hornblenda<br>Diopsídio<br>Hiperstênio<br>Andaluzita<br>Epidoto |
| Moderadamente estáveis | Cianita<br>Granada (rica em Fe)<br>Silimanita<br>Apatita        |
| Estáveis               | Granada (pobre em Fe)<br>Estaurolita                            |
| Ultra-estáveis         | Rutilo<br>Zircão<br>Turmalina<br>Anatásio                       |

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

Os minerais pesados são ainda reconhecidos em dois grupos: os opacos e os transparentes. Os opacos são principalmente óxidos e sulfetos, que normalmente se integram na classe correspondente aos minérios enquanto que os transparentes consistem predominantemente de silicatos. Nesse trabalho foram analisados apenas os minerais pesados transparentes.

### 11.5.1 QUANTIFICAÇÃO DOS MINERAIS

Na tabela 5 estão os índices percentuais de ocorrência de cada mineral das assembleias obtidas na fração areia muito fina (0,125-0,062 mm), tanto para os sedimentos de trado quanto para os de fundo. Com base nessa tabela, verifica-se que hornblenda, epidoto e topázio são os minerais mais abundantes nas amostras de trado perfazendo 20%, 16% e 11% respectivamente. Os demais minerais estaurolita (5%), turmalina (3%), ortopiroxênio (3%), zircão (2%), rutilo (2%), andaluzita (2%) e apatita (1%) podem ser considerados frequentes nas lâminas estudadas, porém apresentam pequena concentração. Nos sedimentos de fundo observa-se que ao contrário dos sedimentos de trado o mineral mais abundante é o zircão (28%) seguido por hornblenda (9%), topázio (7%), rutilo (6%), epidoto (5%) e turmalina (1%) (figura 18).

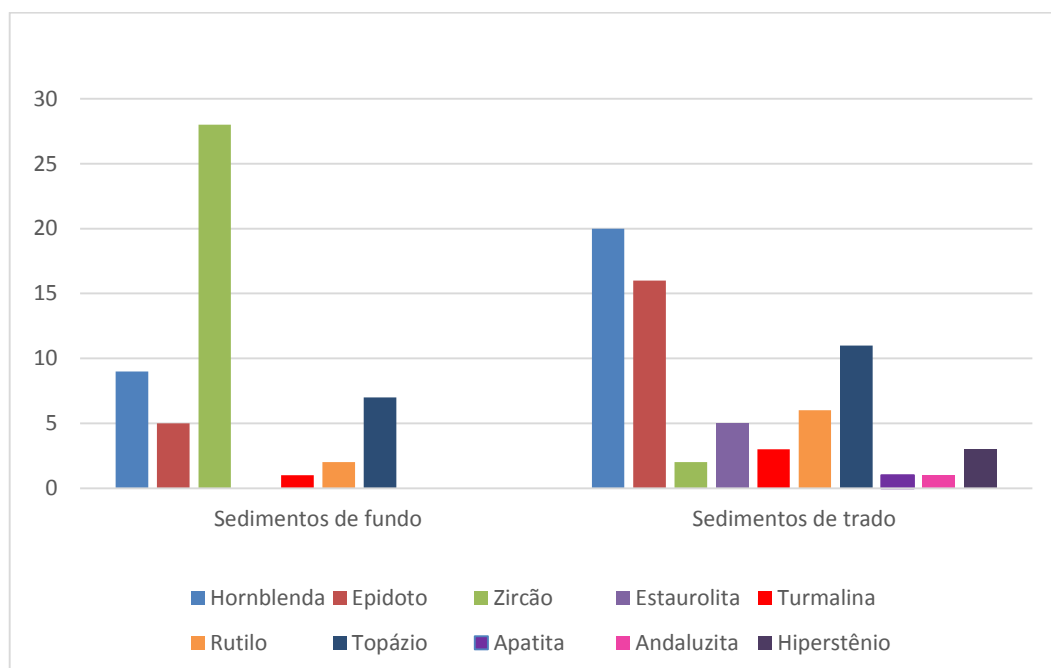
Oriundos de rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares, a maior parte dos minerais pesados ocorre em paragêneses específicas que fornecem importantes informações sobre tipos de rochas-fonte (figura 17), (FRANÇA, 2013).

Figura 17: minerais pesados típicos para certos tipos de rocha,

| <b>Rochas Ígneas Ácidas</b> | <b>Rochas Ígneas Básicas</b>    | <b>Pegmatitos</b>   | <b>Sedimentos Retrabalhados</b> | <b>Rochas Metamórficas</b>        |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Apatita                     | Anatásio                        | Casseterita         | Glauconita                      | Anadalisita                       |
| Biotita<br>Hornblenda       | Augita<br>Broquita              | Fluorita<br>Topázio | Óxidos de ferro<br>Rutilo       | Granada<br>Hornblenda<br>Alcalina |
| Monazita                    | Cromita                         | Turmalina           | Turmalina                       | Hornblenda<br>verde               |
| Muscovita                   | Hiperstênio                     |                     | Zircão<br>(arredondado)         | Cianita                           |
| Titanita                    | Ilmenita                        |                     |                                 | Silimanita                        |
| Zircão                      | Leucocênio<br>Olivina<br>Rutilo |                     |                                 | Estaurolita                       |

Fonte: Mabesoone (1983) *apud* França, (2013).

Figura 18: percentuais de distribuição dos minerais pesados transparentes identificados em lâmina nos sedimentos de fundo e de trado do rio Cunani.



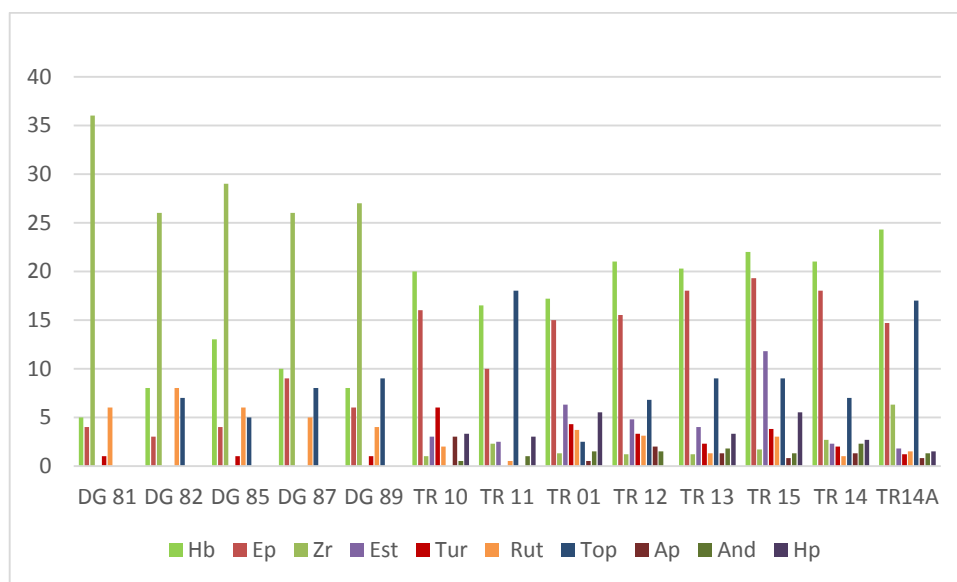
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 18 observa-se com mais clareza que nos sedimentos de fundo, localizados à montante da área de estudo, a assembleia mineralógica obtida apresenta menor diversidade e maior maturidade do que aquela identificada nos sedimentos de trado. Isso pode indicar diferentes fontes para os minerais estudados, já que nos sedimentos de trado ocorrem minerais de origem metamórfica como andaluzita, estauroлита, minerais esses que não foram encontrados nos sedimentos de fundo. O epidoto também apresenta concentrações bem diferentes nas duas regiões estudadas, apesar de ocorrer em ambas, nos sedimentos lamosos ele é bem mais abundante do que nos sedimentos de fundo.

Os dados obtidos neste estudo estão também de acordo com aqueles obtidos por TEIXEIRA (2013) para os sedimentos lamosos do Rio Araguari-AP. De acordo com esse autor, quanto mais próximo da foz, menor a quantidade de minerais pesados ultra-estáveis encontrada. A assembleia mineralógica definida para os sedimentos da foz do rio Araguari é composta por epidoto (42%), hornblenda (33%), ortopiroxênio (9%), diopsídio (4%), zircão (2%), turmalina (1%) e rutilo (1%), apresentando mineralogia bem semelhante a definida nesse trabalho. Com exceção do diopsídio, os demais minerais também foram identificados na presente pesquisa, porém em proporções diferentes.

Observa-se, que em direção à foz do rio Cunani ocorre considerável diminuição na concentração dos minerais ultraestáveis (zircão, turmalina e rutilo) ao mesmo passo em que ocorre um aumento da concentração dos minerais instáveis (hornblenda, epidoto e hiperstênio) (figura 19). Aparentemente a concentração de minerais pesados estáveis e instáveis está relacionada a granulometria dos sedimentos. Os sedimentos de fundo localizados mais a montante e mais próximos das rochas cristalinas, apresentaram granulometria variando entre areia fina e média, o que favorece a concentração de minerais mais estáveis.

Figura 19 Figura representando as assembleias mineralógicas obtidas desde a cabeceira do estuário até a foz do rio Cunani



Fonte: Elaborado pelo autor.

HUBERT, 1962 definiu o índice ZTR (somatório das proporções de zircão, turmalina e rutilo) como indicador de maturidade mineralógica dos sedimentos arenosos. Os valores de referências utilizados 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.

Na tabela 4 encontram-se os índices ZTR obtidos para os sedimentos analisados. Observa-se que os sedimentos de trado (ST) apresentaram índice ZTR de 7%, valor esse consideravelmente inferior à aquele exibido pelos sedimentos de fundo (SF) com

ZTR 35%, permitindo a interpretação de que os SF localizados mais à montante da região de estuário são mais maduros que os ST localizados mais próximos da foz do rio Cunani.

A média para o índice de ZTR exibida para as duas regiões estudadas é 21%, o que classifica a região analisada como tendo abundância em minerais instáveis.

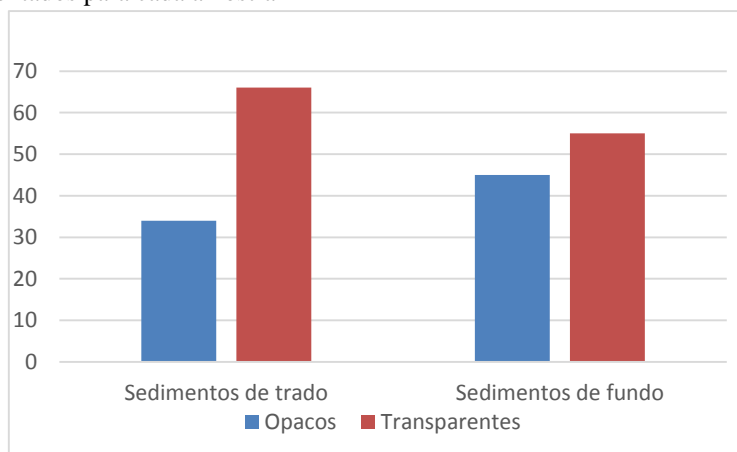
Os sedimentos de trado podem ser classificados como sedimentos com superabundância de minerais instáveis, e os sedimentos de fundo como sedimentos com abundância de minerais instáveis.

Tabela 4: Índice ZTR dos sedimentos estudados, mostrando uma diminuição no percentual em direção à foz do rio Cunani, evidente na fração fina (0,125-0,062mm). Valores em porcentagem.

|                     | ZTR |
|---------------------|-----|
| Sedimentos de Trado | 7   |
| Sedimentos de fundo | 35  |
| Média               | 21  |

Com relação aos minerais pesados opacos, as proporções referentes às quantidades destes em comparação com as quantidades dos minerais pesados transparentes estão expostas na figura 20. Percebe-se que existe maior concentração de opacos nos sedimentos fundo (45%). No entanto, a diferença entre as proporções de minerais opacos encontrados nas duas áreas não apresenta grande disparidade, pois os sedimentos de trado apresentaram uma concentração de minerais opacos de 34% , ou seja, apenas 9% menos do que nos outros sedimentos estudados.

Figura 20: Relação de proporção entre minerais pesados opacos e não opacos (valores em porcentagem) e o total de grãos contados para cada amostra



Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior concentração dos minerais opacos nos sedimentos fundo pode estar relacionada ao fato dos minerais opacos apresentarem baixo potencial hidráulico, sendo compatíveis com os minerais pesados ultraestáveis anteriormente citados como: zircão, turmalina e rutilo, tidos como minerais com baixo grau de mobilidade e que também apresentam maiores concentrações em sedimentos mais grossos.

A relativa desigualdade nos teores dos minerais identificados pode estar relacionada a influência de parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos sobre esses minerais durante os processos de transporte e deposição (FRANÇA, 2013). 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 (FRANÇA op.cit).

Tabela 5: Percentuais de ocorrência dos minerais pesados identificados nesse trabalho, bem como o de minerais opacos e número de grãos contados. Hb (Hornblenda); Ep (Epidoto); Zr (Zircão); Ms (Muscovita); Est (Estaurolita); Tur (Turmalina); Top (Topázio); Ap (Apatita); And (Andaluzita); Hp (Hiperstênio); Bt (Biotita) e Rut (Rutilo).

| Amostras  | Hb   | Ep | Zr  | Est | Tur | Rut | Top | Ap  | And | Hp  | OP   | Total de grãos contados |
|-----------|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------------------------|
| TR 01/01  | 11,5 | 14 | 2   | 3,5 | 6   | 6   | 2   | -   | 2   | 4   | 49   | 411                     |
| TR 01/03  | 30   | 14 | 0,5 | 3,5 | 1   | 1   | 2,5 | 0,5 | -   | 7   | 40   | 264                     |
| TR 01/05  | 10   | 17 | 1,5 | 12  | 6   | 4   | 3   | 0,5 | 1   | -   | 44,5 | 592                     |
| TR 10/06  | 18   | 21 | 0,5 | 3   | 6   | 3   | -   | -   | 1   | 1,5 | 46   | 287                     |
| TR 10/11  | 22   | 11 | 1,5 | -   | -   | 1   | 8   | 3   | 0,5 | 5   | 48   | 296                     |
| TR 11/12  | 20   | 11 | 0,5 | 4   | -   | 0,5 | 6   | -   | -   | 3   | 55   | 301                     |
| TR 11/14  | 13   | 9  | 4   | 1   | -   | -   | 56  | -   | 1   | -   | 16   | 370                     |
| TR 12/19  | 19   | 13 | 0,8 | 4,5 | 2,5 | 1,2 | 10  | 2,5 | 1,5 | -   | 45   | 255                     |
| TR 12/21  | 23   | 18 | 1,5 | 5   | 4   | 5   | 3,5 | 1,5 | 1,5 | 2   | 35   | 497                     |
| TR 13/22  | 22   | 23 | 1   | 5   | 3   | 1   | 10  | 2   | 2   | 3   | 28   | 451                     |
| TR 13/24  | 18   | 19 | 1,5 | 3   | 2   | 1   | 9   | 1   | 1,5 | 2   | 42   | 571                     |
| TR 13/26  | 21   | 12 | 1   | -   | 2   | 2   | 8   | 1   | 2   | 5   | 46   | 392                     |
| TR 14/32  | 24   | 15 | 4   | 2   | 2   | -   | 9   | 1   | 2   | 2   | 39   | 369                     |
| TR 14/34  | 17   | 18 | 2   | 3   | 2   | 1   | 6   | 1   | 3   | 2   | 45   | 534                     |
| TR 14/36  | 22   | 21 | 2   | 2   | 2   | 1   | 6   | 2   | 2   | 4   | 36   | 504                     |
| TR 14A/27 | 20   | 15 | 8   | 1,5 | 2   | 1   | 8   | 1   | 1,5 | 2   | 40   | 340                     |
| TR 14A/29 | 22   | 11 | 6   | 2   | 1   | 2   | 32  | 1   | 1   | -   | 22   | 425                     |
| TR 14A/31 | 31   | 18 | 5   | -   | 0,5 | -   | 11  | 0,5 | -   | 1   | 33   | 304                     |
| TR 15/37  | 23   | 20 | 2   | -   | 3   | 2   | 9   | 0,5 | 1,5 | 2   | 37   | 406                     |
| TR 15/39  | 18   | 23 | 1   | 9,5 | 4,5 | 3   | 7   | -   | 1   | 2   | 31   | 399                     |
| TR 15/41  | 25   | 15 | 2   | 14  | 4   | 4   | 11  | 1   | -   | -   | 24   | 387                     |
| Média     | 20   | 16 | 2   | 5   | 3   | 2   | 11  | 1   | 2   | 3   | 34   | 398                     |
| DG 81     | 5    | 4  | 36  | -   | 1   | 6   | -   | -   | -   | -   | 48   | 238                     |
| DG 82     | 8    | 3  | 26  | -   | -   | 8   | 7   | -   | -   | -   | 48   | 233                     |
| DG 85     | 13   | 4  | 29  | -   | 1   | 6   | 5   | -   | -   | -   | 42   | 275                     |
| DG 87     | 10   | 9  | 26  | -   | -   | 5   | 8   | -   | -   | -   | 42   | 272                     |
| DG 89     | 8    | 6  | 27  | -   | 1   | 4   | 9   | -   | -   | -   | 45   | 251                     |
| Média     | 9    | 5  | 28  | -   | 1   | 6   | 7   | -   | -   | -   | 45   | 185                     |

## 12 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

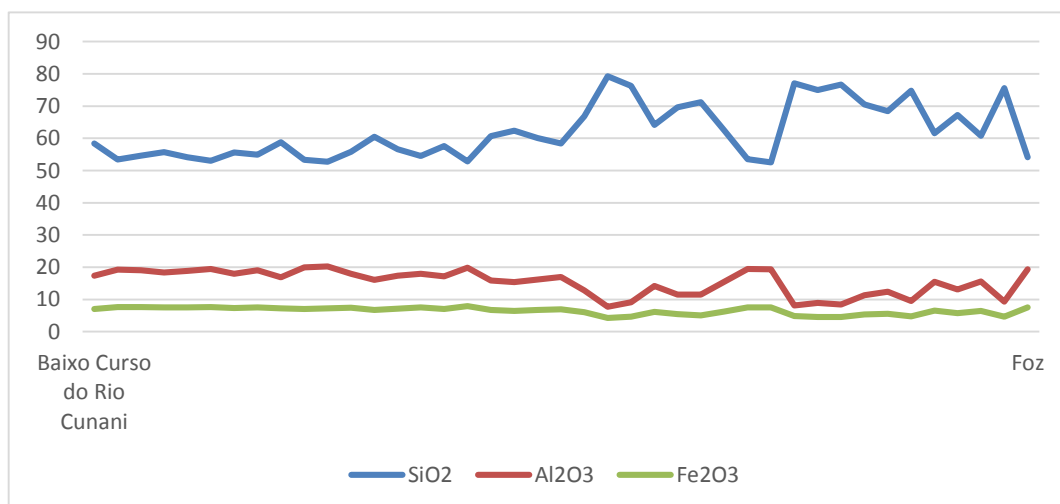
### 12.1 Elementos Maiores

Os óxidos analisados foram:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{MnO}$  com resultados expressos em porcentagem, predominando dentre esses  $\text{SiO}_2$  (62,01%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (15,36%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (6,47%). Os teores elevados de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  indicam que esses sedimentos são produtos de processos de forte lixiviação a partir do intenso intemperismo tropical característico da região.

Os teores de  $\text{SiO}_2$  situam-se entre 52,28 e 79,24 % com média de 62,01 %  $\pm$  8,4%. Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  situam-se entre 14,03 e 19,83% com média de 7,72%,  $\pm$  3,9% os valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  estão entre 6,13 e 7,89% com teor médio de 4,24%  $\pm$  1,10. Na figura 21, observa-se que dentre os o principais óxidos que compõem os sedimentos estudados, o  $\text{SiO}_2$  é o que apresenta maiores variações, com valores das concentrações de 53,26% na região a montante e chegando a atingir o valor de 79,24% nas proximidades da foz. O  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apresenta pequenas variações e o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  permanece relativamente constante ao longo da região estudada. O aumento da concentração de  $\text{SiO}_2$  pode ser explicado pelo aumento da granulometria em direção a foz com a formação de pequenos bancos de areia.

Os teores de  $\text{K}_2\text{O}$  com média de 2,15%  $\pm$  0,38% podem estar relacionados a presença de feldspato; os teores de  $\text{Na}_2\text{O}$  situam-se entre 0,66 % e podem estar associados a presença de albita; o  $\text{MgO}$  apresenta valor médio de 0,89% e estaria relacionado à composição da esmectita.

Figura 21: Variação dos principais óxidos ao longo da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Table 6: Comparação dos valores médios dos sedimentos do rio Cunani com os valores médios da composição da crosta continental superior e dos sedimentos de fundo dos rios Araguari e Pará e da Formação Barreiras..

| Óxidos                         | Rio Cunani | Crosta Continental (1) | Rio Araguari (2) |
|--------------------------------|------------|------------------------|------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 62,01      | 66,0                   | 66,36            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,36      | 15,2                   | 13,14            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,47       | 4,49                   | 5,37             |
| MgO                            | 2,28       | 0,5                    | 2,15             |
| CaO                            | 1,61       | 4,2                    | 0,75             |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,79       | 2,2                    | 1,19             |
| K <sub>2</sub> O               | 0,95       | 3,9                    | 1,24             |
| Ti <sub>2</sub> O              | 0,50       | 3,4                    | 0,88             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,13       | 0,08                   | 0,04             |
| MnO                            | 0,09       | 0,2                    | 0,07             |

Fonte: (1) TAYLOR e MCLENNAN (1985); (2) TEIXEIRA (2013)

Quando comparados aos valores crustais (TAYLOR; MCLENNAN, 1985), os sedimentos do Rio Cunani apresentaram-se enriquecidos em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e empobrecidos em SiO<sub>2</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O. Quando comparados aos sedimentos do Rio Araguari os sedimentos do Rio Cunani são enriquecidos em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e empobrecidos em SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e TiO<sub>2</sub> (Tabela 6).

Os teores mais elevados de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nos sedimentos do rio Cunani, quando comparados aos valores médios crustais são reflexos da forte erosão e lixiviação dos solos das áreas fonts, sujeitas a clima úmido. O acúmulo de matéria orgânica nos solos de regiões úmidas e equatoriais podem favorecer também o transporte de ferro complexado com ácidos fúlvicos (SIQUEIRA et. al., 2005).

Os percentuais de TiO<sub>2</sub> são relativamente, baixos, quando comparados aos demais óxidos. O conteúdo de TiO<sub>2</sub> apresentou média de 0,5% e considerando que não foi detectado mineral específico de Ti pela ditratometria de raios-X, infere-se aqui, a

possibilidade da incorporação desse óxido no reticulado cristalino de argilominerais ou de minerais resistentes de processos intempéricos como o rutilo ou ainda, associado a oxihidróxidos e óxidos hidratados de Fe e Mn.

Baixos percentuais também foram detectados para o MnO (média 0,09%). Segundo Lima et al. (2005) é de se esperar que o Mn apresente comportamento geoquímico muito semelhante ao Ti no que diz respeito à possibilidade de incorporação ao reticulado cristalino de argilominerais ou de minerais resistentes, ou ainda associado a oxihidróxidos e óxidos hidratados de Fe e Ti.

Os óxidos K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O e CaO apresentam variação em suas concentrações em relação a profundidade. A média dos teores de Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e MgO encontrados nos sedimentos do rio Cunani foram  $1 \pm 0,18 \%$ ,  $2,15 \pm 0,38\%$  e  $1,49 \pm 0,36\%$ , respectivamente. Tendo em vista que as concentrações desses óxidos apresentam valores relativamente baixos, acredita-se que a presença dos mesmos nos sedimentos esteja relacionada predominantemente aos argilominerais, podendo também estar relacionados às contribuições marinhas.

Para o K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O as maiores variações ocorreram nas profundidades intermediárias, já para o MgO as mudanças mais consideráveis na concentração aconteceram próximas a base do sedimento. Em relação ao K<sub>2</sub>O os trados 14A e 15 apresentam as maiores diferenças observadas entre as concentrações de topo e base, 0,4 e 0,9 ppm respectivamente. Os trados 14, 15 e 14A apresentaram concentrações mais elevadas de MgO, tanto em superfície quanto em profundidade, fato esse que pode ser explicado, devido à proximidade com a foz do rio, tornando-os mais suscetíveis à influência marinha.

## 12.2 Elementos-Traço

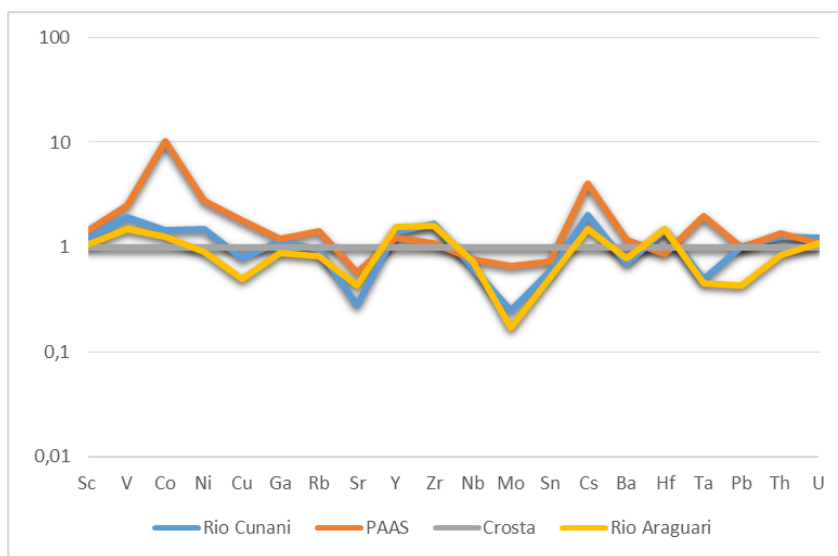
Quando comparados aos valores crustais estabelecidos por Taylor e McLennan (1985), os sedimentos estudados são enriquecidos em Sc, V, Co, Ni, Ga, Rb, Y, Zr, Cs, Hf e U e empobrecidos em Cu, Sr, Nb, Mo, Sn, Ba e Ta .

No gráfico da figura 22 são apresentadas as concentrações dos elementos-traço presentes no sedimento do Rio Araguari (TEIXEIRA, 2013), PAAS (Post-Archeans Australian Shales; Taylor e McLennan, 1985) aos do Rio Cunani. Pode-se observar que os sedimentos do Rio Araguari e Cunani apresentaram concentrações semelhantes de

elementos traços, sendo o segundo levemente enriquecido em Sc, Co, Ni, Cu, Ga, Rb, Zr, Mo, Sn, Cs, Pb e U e empobrecido em V, Sr, Nb e Ba em relação ao primeiro.

Quando comparados às argilas do PAAS os sedimentos do rio Cunani são empobrecidos na maioria dos elementos traços, com exceção do Y, Zr, Hf, U que apresentaram concentrações ligeiramente mais elevadas nos sedimentos do Rio Cunani. Esses elementos ocorrem na crosta continental superior associados a minerais resistentes, como o zircão ou a sulfetos (BARBOSA et. al., 2015).

Figura 22: Gráfico mostrando a comparação entre as concentrações dos elementos traços do Rio Cunani, Araguari e PAAS. Os valores foram normalizados em relação aos valores médios crustais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Marques et al. (2011) os óxidos-hidróxidos de Fe, Al e Mn são considerados como importantes suportes geoquímicos para regiões de interface entre o continente e o oceano, onde várias transformações ocorrem, como exemplo a formação de minerais autigênicos, assim como alterações diárias nas condições físico-químicas do ambiente (ex. força iônica e potencial redox).

A associação entre óxidos principais e elementos-traço está relacionada a presença dos argilominerais, como demonstrado pelas fortes correlações entre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{MgO}$  (0,99),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,99),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,98), Sc (1), Cs (0,99), Rb (0,99), Pb (0,98) e Co (0,98). Estes são basicamente silicatos de Al, Fe e Mg hidratados, com estruturas cristalinas em camadas (filossilicatos) por folhas contínuas de tetraedros de  $\text{SiO}_4$ . Os argilominerais dispõem de superfícies com grande capacidade reativa, que acabam incorporando muitos dos elementos traços analisados durante o processo de precipitação.

### 12.3 Elementos Terras Raras

As concentrações dos Elementos Terras Raras (ETR) foram normalizadas em relação a composição média dos meteoritos condritos segundo Taylor e McLennan (1985) e comparadas aos valores médios de ETRs na crosta continental; PAAS (TAYLOR; MCLENNAN, 1985)<sup>1</sup> e Rio Araguari (TEIXEIRA, 2013)<sup>2</sup>.

De acordo com a tabela 7 os sedimentos do Rio Cunani são enriquecidos em todos os Elementos Terra Raras em relação à crosta continental e ao PAAS. Em comparação ao Rio Araguari os sedimentos apresentaram-se enriquecidos apenas em Ce, Pr, Nd e Sm.

O valor da razão Ce/Ce\* obtida para os sedimentos analisados é 0,96. Ainda segundo Lima et al. (2011), valores dessa razão (menores que 1) indicam empobrecimento de Ce nos sedimentos, sugerindo uma dissolução por redução do Ce+4 insolúvel, para Ce +3 solúvel. Valores da razão Ce/Ce\* maior que 1 indicam anomalias positivas, indicando ambiência de tendência oxidante. O valor abaixo da unidade da razão Ce/Ce\* (0,96) apresentada pelos sedimentos do rio Cunani indica que o perfil sedimentar se desenvolveu sob um ambiente de caráter predominantemente redutor, o que pode ser comprovado no capítulo de propriedades físico-químicas onde os valores de Eh exibidos na região estudada são sempre negativos.

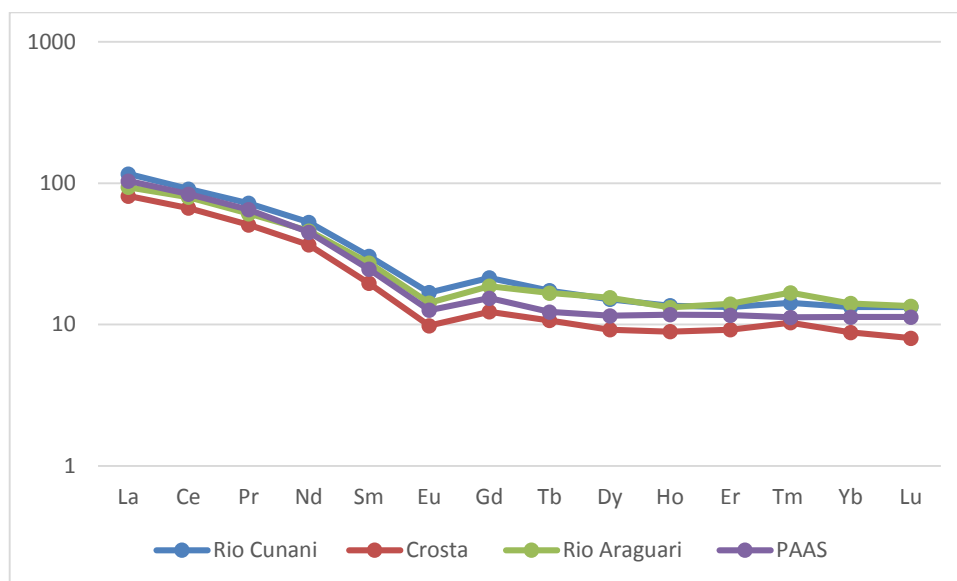
Table 7: Concentração dos elementos terras raras nos sedimentos de trado do Rio Cunani (valores em ppm), em comparação com os valores médios da crosta continental superior, Rio Araguari, Rio Pará, Formação Barreiras e PAAS. Valores normalizados em relação à concentração média nos meteoritos condritos .

| Amostras         | La    | Ce   | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Lu   |
|------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Rio Cunani       | 126,4 | 95,0 | 73,8 | 52,4 | 28,1 | 13,9 | 18,9 | 14,5 | 12,4 | 11,0 | 10,8 | 11,7 | 11,0 | 11,3 |
| Crosta (1)       | 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    |
| Rio Araguari (2) | 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 |
| PAAS (3)         | 102,7 | 83,3 | 63,8 | 45,1 | 24,6 | 12,2 | 15,2 | 12,8 | 11,6 | 11,1 | 11,6 | 12,5 | 11,2 | 10,8 |

Fonte: Taylor; McLennan, 1985. 2 Teixeira, 2013.

No gráfico da figura 23, observa-se que os teores de ETRs exibem padrões de fracionamento uniformes e semelhantes. Observa-se também a anomalia negativa do Eu, que sugere a origem comum destes sedimentos a partir de rochas da crosta continental superior. A anomalia negativa do Eu (0,65) apresentada pelos sedimentos estudados, indica a origem como herdada de rochas ígneas félsicas (graníticas), evidenciando a atuação de feldspato na sua gênese e evolução (MCLENNAN; TAYLOR, 1991).

Figura 23: Aranhograma representando a comparação entre a concentração dos ETRs nos sedimentos do rio Cunani, Crosta Continental, Rio Araguari e PAAS



Fonte: Elaborado pelo autor.

O fracionamento entre Terras Raras leves e pesados, em ambiente costeiro foi observado em várias regiões do mundo (SHOLKOVITZ et al., 1994; CACCIA et al., 2007 *apud* LIMA et al., 2011) e interpretado como sendo devido a maior adsorção dos ETRL na superfície das partículas, enquanto que os Terras Raras pesadas ficam preferencialmente em solução (EIBAZ-POULICHET et al, 1999 *apud* LIMA et al., 2011).

De maneira geral os ETRs presentes nos sedimentos do rio Cunani apresentaram baixo fracionamento, indicado pela razão  $(La/Lu)_N = 8,74$ . As razões  $(La/Sm)_N = 3,82$  e  $(Ce/Yb)_N = 6,84$  mostram que os ETRP sofreram maior fracionamento quando comparados aos ETRL. Os ETLs são mais facilmente adsorvidos às estruturas dos argilominerais do que os ETPs, devido ao tamanho do raio iônico, por isso a diferença de fracionamento entre os dois.

## 12.4 CORRELAÇÕES QUÍMICAS

Fortes correlações positivas foram observadas entre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,98);  $\text{Ti}_2\text{O}$  (0,92);  $\text{MgO}$  (0,99);  $\text{K}_2\text{O}$  (0,99);  $\text{MnO}$  (0,85),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,93), PF (0,62) e C(0,56), essas associações refletem a presença dos minerais de argila (principalmente a esmectita), juntamente com oxi-hidróxidos e óxidos hidratados de Fe, Ti e Mn. Outras correlações existem por exemplo, entre  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  (0,98),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,97),  $\text{MnO}$  (0,91) e  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,96) associando a composição química dos sedimentos do rio Cunani com a área fonte e os aluminossilicatos. O  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  apresentou forte correlação com  $\text{Ti}_2\text{O}$  (0,90), estando esses dois elementos associados a formação da ilmenita.

O  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apresentou fortes correlações com Sc (1), Cs (0,99), Rb (0,99), Pb (0,98), Co (0,98), Zn (0,98), V (0,98), Ga (0,97), Cs (0,97) e Th (0,96). A associação química  $\text{SiO}_2$ -Zr-Hf ( $\text{SiO}_2$  e Zr (0,83); Hf (0,82); Hf e Zr (1)) representa fases mais grosseiras (arenosas), por isso apresenta correlações negativas com o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e fortes correlações positivas entre si.

O  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apresentou também fortes correlações positivas com os ETRs La (0,97), Ce (0,95), Pr (0,97), Nd (0,97), Sm (0,96), Eu (0,97), Gd (0,95), Tb (0,92), Dy (0,92), Ho (0,86), Er (0,81), Tm (0,75). Essas correlações são similares em média com  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$  (0,99),  $\text{MgO}$  (0,99) esses valores sugerem a concentração dos ETR nos argilominerais (preferencialmente os ETRL) e minerais pesados.

A predominância de valores de correlações mais elevadas entre  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e Cs (0,97), Rb (0,96), Co (0,96), Ba (0,96) e Nb (0,90), podem estar relacionadas ao fato de que oxi-hidróxidos de Fe são considerados como fase capazes de reter metais.

Tanto as concentrações de enxofre nos sedimentos lamosos do rio Cunani foram baixas (média  $0,16 \pm 0,07$ ), como também as correlações desse elemento com os demais analisados (anexo).

### 13 CONSIDERAÇÕES SOBRE PROVENIÊNCIA DOS SEDIMENTOS

As assembleias de minerais leves indicaram o predomínio de quartzo (56%), muscovita (16%), esmectita (13%), caulinita (7%), illita (5%) e albita (3%), provavelmente ligadas a fontes provenientes de rochas ígneas (graníticas) e metamórficas.

Duas assembleias de minerais pesados foram identificadas. A assembleia A é representativa dos sedimentos lamosos do rio Cunani, composta por hornblenda, epidoto, topázio, andaluzita, estauroлита, apatita, zircão, turmalina e rutilo. A assembleia B representa os sedimentos mais grosseiros localizados a montante da área de estudo é formada por zircão, rutilo, turmalina, hornblenda, epidoto e topázio.

As assembleias A e B apresentaram características distintas no que se refere a diversidade mineralógica e ao índice de maturidade. Na assembleia A, referente aos sedimentos lamosos, ocorreu o predomínio de minerais pesados instáveis como hornblenda, epidoto e topázio, apresentando conseqüentemente baixo índice de maturidade ( $ZTR=7$ ). Nessa assembleia observa-se também a presença de minerais que não foram identificados na assembleia B como andaluzita e estauroлита, minerais tipicamente metamórficos, bem como também apatita e ortopiroxênio. Os grãos de zircão e apatita variam de euédricos a subédricos, os de hornblenda, ortopiroxênio, andalusita e rutilo são predominantemente subédricos e os de epidoto e estauroлита anédricos. Essas características sugerem proveniência a partir de rochas metamórficas de grau médio a alto, bem como baixa taxa de transporte e proximidade da área fonte.

Na assembleia B observa-se a dominância de minerais pesados ultra estáveis como zircão e rutilo, caracterizando essa assembleia como madura, com índice  $ZTR=35$ . É formada por grãos euédricos a subédricos de zircão e apatita, grãos subédricos a levemente arredondados de rutilo, grãos subédricos de hornblenda e epidoto e grãos anédricos de topázio. A mineralogia observada nesses sedimentos sugere derivação a partir de rochas graníticas ácidas de maturidade elevada, coerente com as rochas graníticas existentes a montante do rio Cunani.

Com base nesses resultados conclui-se que não há transporte significativo dos sedimentos da montante do rio para jusante, onde estão localizados os sedimentos lamosos. Sugerindo-se, por conseguinte, que as duas assembleias sejam provenientes de

áreas fontes distintas.

Os valores enriquecidos das razões: Th /Co (0,93); La/Th (3,13); La/Sc (3,16); La/Co (2,92); Zr/Sc (23,59) e Th/Sc (1) em relação ao PAAS, aliados à anomalia negativa do Eu (0,65), se revelaram importantes ferramentas na identificação de proveniência. Os resultados obtidos sugerem assinatura geoquímica de rochas ígneas félsicas nos sedimentos do Rio Cunani. A razão Th/U com valores maiores que 0,1 também são indicadores de proveniência ígnea. A razão Zr/Hf (38,18) e a quantidade de Pb (20,18) indicam que os zircões são provenientes da crosta continental (BARROS et al., 2005).

Afim de saber a proveniência dos sedimentos, foram utilizadas as seguintes razões Rb/Sr, Zr/Hf, Th/U, Th/Sc, Th/Co, La/Th, La/Sc, La/Co, Ba/Co e Zr/Sc (tabela 8) que, de acordo com Cullers (1994) são boas ferramentas para o alcance desse objetivo

Ainda segundo Cullers (1994), as razões Th /Co; La/Th; La/Sc; La/Co; Zr/Sc e Th/Sc quando enriquecidas em relação ao PAAS, sugerem uma assinatura geoquímica de rochas félsicas nos sedimentos do rio Cunani.

Table 8: Razões entre elementos-traço nos sedimentos lamosos (ST) e de fundo (SF) do rio Cunani comparados ao PAAS.

| <b>Razões</b> | <b>SF</b> | <b>ST</b> | <b>PAAS</b> |
|---------------|-----------|-----------|-------------|
| Rb/Sr         | 0,36      | 0,79      | 0,8         |
| Zr/Hf         | 40        | 38,18     | 42          |
| Th/U          | 5         | 3,91      | 4,7         |
| Th/Sc         | 6         | 1         | 0,9         |
| Th/Co         | 0,95      | 0,93      | 0,6         |
| La/Th         | 2,61      | 3,13      | 2,6         |
| La/Sc         | 13,75     | 3,16      | 2,4         |
| La/Co         | 2,18      | 2,92      | 1,7         |
| Zr/Sc         | 465       | 23,59     | 13,1        |
| Ba/Co         | 7,26      | 0,79      | 28,3        |

Diferenças geoquímicas também foram observadas entre os sedimentos de fundo e de trado (tabela 8). As razões mais elevadas de Zr/Hf, Th/U, Th/Sc, La/Sc e Zr/Sc nos sedimentos de fundo, podem ser explicadas pela maior afinidade da associação Zr-Hf-Th com fases mais grosseiras, principalmente na constituição de minerais resitados como o

zircão. As razões Rb/Sr, La/Th e Ba/Co apresentaram valores mais elevados nos sedimentos lamosos, pois Rb, La, Ba e Co estão relacionados aos argilominerais (ver anexo). A razão Th/U apresentou valores mais baixos nos sedimentos lamosos, pois o U está relacionado a matéria orgânica, presente em mais abundância nesse tipo de sedimento.

Gibbs (1973); Siqueira et al. (2006); Lima (2003); Andrade e Patchineelam (2000) e Lima et al. (2005), estudaram as características hidrodinâmicas, sedimentológicas, mineralógicas, químicas e geoquímicas dos sedimentos da Plataforma Amazônica. Similaridades geoquímicas e mineralógicas entre os sedimentos lamosos do rio Cunani e os da PA foram observadas e encontram-se abaixo descritas

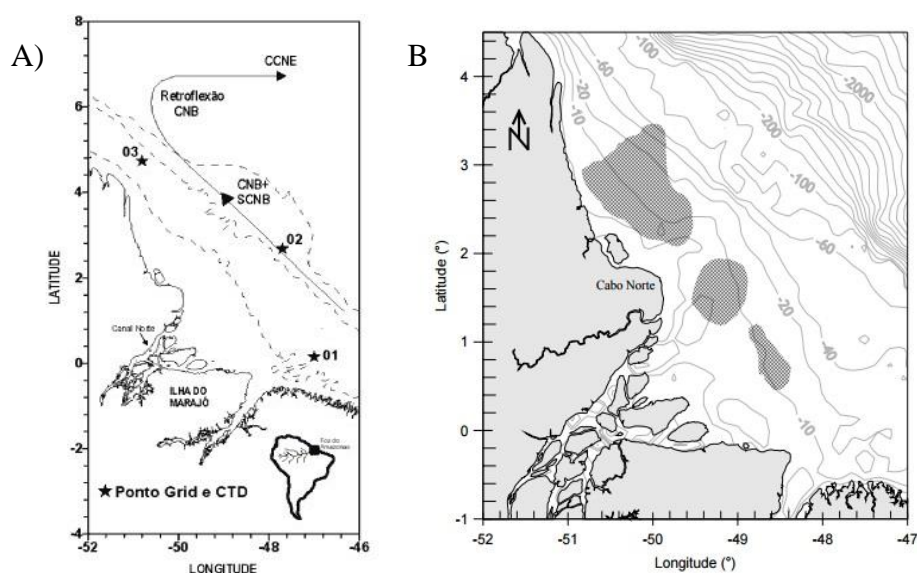
As concentrações em ppm de Zn com média de  $75 \pm 13$  e Ni  $29 \pm 6$  observadas nos sedimentos lamosos do rio Cunani estão em conformidade com os dados obtidos por Siqueira et al. (2006) e Lima (2003) para sedimentos oriundos da PA na costa Amapense. Os valores em ppm obtidos por esses autores foram 25,1 - 57,31 para Ni, 40 - 167 ppm para Zn. A concentração média de Co nos sedimentos lamosos foi  $14,6 \pm 2,9$  ppm a mesma identificada por Andrade e Patchineelam (2000) em sedimentos da PA na Costa Amapaense.

Lima et al. (2005), concluíram que os sedimentos da plataforma interna Amazônica são compostos predominantemente pelas frações silte+argila (lama) e constituídos mineralogicamente por esmectita, caulinita, illita e quartzo de forma dominante e em menores proporções aparecem os feldspatos (K-feldspato e plagioclásio) e a clorita. Os autores ainda identificaram minerais pesados como: ilmenita, magnetita, óxido de Fe hidratado, hornblenda, hiperstênio, epidoto, turmalina, zircão, muscovita, silimanita etc. A mineralogia identificada por Lima et al., *op.cit.* nos sedimentos da PA é compatível com a identificada nos sedimentos lamosos do rio Cunani.

Apesar dos resultados deste trabalho não permitirem esclarecer detalhadamente a proveniência dos sedimentos, e do conhecimento da geologia regional do Amapá ainda carecer de estudos mais detalhados, sugere-se aqui, com base nos dados geoquímicos, mineralógicos e com apoio bibliográfico que a fonte dos sedimentos mais grosseiros situados a montante se dão predominantemente a partir das rochas do Granito Cunani, podendo, subordinadamente, também serem influenciados pela Suíte Cricou e pelo Granodiorito Carnot no fornecimento de minerais como hornblenda e epidoto.

Por não haver no arcabouço geológico do rio Cunani unidades litoestratigráficas que possam fornecer os minerais metamórficos como estauroлита e andaluzita e, também, pelas semelhanças geoquímicas, granulométricas (predominância da fração pelítica), e mineralógicas (sedimentos constituídos por quartzo, esmectita, caulinita e ilita) encontradas entre os sedimentos da Plataforma Amazônica e os do rio Cunani, acredita-se que os sedimentos lamosos do rio Cunani foram importados para o estuário a partir da pluma amazônica (Figura 24) que é formada quando os sedimentos de água doce provenientes do rio Amazonas se misturam com águas oceânicas formando uma pluma superficial de baixa salinidade - pluma de água amazônica que é transportada para noroeste pela corrente Norte do Brasil - CNB (SILVA et al., 2007), sofrendo influência também de ventos alísios (figura 24 A). Dados coletados durante o projeto Amasseds mostraram que a pluma possui tipicamente 3-10 m de espessura e 80-200 km de largura (LENTZ; LIMEBURNER 1995 *apud* VILELA, 2011).

Figura 24: A) Mapa da plataforma continental do Amazonas (PCA) e área oceânica adjacente. As setas contínuas mostram a influência da Corrente Norte do Brasil (CNB)/Subcorrente Norte do Brasil (SCNB), a Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) e a sua retroflexão na região oceânica. As linhas pontilhadas representam as isóbatas de 20, 100 e 2000 m. Modificado a partir de SILVA et. al., 2009. B) Distribuição da lama fluida durante os quatro cruzeiros do projeto Amasseds.



Fote: Modificado a partir de VILELA, 2011.

## 14 CONCLUSÃO

As propriedades físico-químicas dos sedimentos lamosos do rio Cunani, variaram ao longo da região estudada. A montante da área, onde os sedimentos apresentaram granulometria mais fina, foram encontradas condições mais redutoras e menos oxidantes. Na região da foz, devido a maior influência de águas oceânicas e, também, ao aumento da granulometria prevaleceram condições mais oxidantes nos sedimentos. A salinidade manteve-se abaixo da águas oceânicas por toda a área estudada (2‰-16‰). Na região a montante do rio, onde os sedimentos de fundo foram amostrados, a salinidade apresentou seus valores mais baixos (2‰-4‰), já na região mais próxima a foz, onde os sedimentos lamosos estão localizados os valores foram os mais elevados (10- 16‰).

Os sedimentos lamosos do rio Cunani são predominantemente compostos por silte + argila (98%), e areia muito fina. A concentração de areia nos sedimentos apresenta um leve aumento na direção montante-jusante. Esse aumento na concentração de areia influenciou as variações nas condições oxi-redutoras observadas.

Duas assembleias de minerais pesados transparentes foram identificadas, uma constituída por hornblenda (20%), epidoto (16%), topázio (11%), estauroлита (5%), turmalina (3%), ortopiroxênio (3%), zircão (2%), rutilo (2%), andaluzita (2%) e apatita (1%) e representativa dos sedimentos lamosos, e outra formada por zircão (28%), hornblenda (9%), topázio (7%), rutilo (6%), epidoto (5%) e turmalina (1%). Os minerais encontrados estão ligados a fontes provenientes de rochas ígneas (graníticas) e metamórficas.

Quimicamente os sedimentos lamosos do rio Cunani são maduros devido a predominância de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . O aumento de sílica segue o mesmo padrão apresentado pela granulometria, ou seja, aumenta em direção à jusante (associado ao quartzo). O enriquecimento em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é reflexo da lixiviação dos solos das áreas fontes sob clima tropical. A forte correlação entre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{PF}$  e elementos-traço sugere que esses elementos estão associados aos argilominerais (esmectita, caulinita e ilita), principalmente ao grupo da esmectita.

Outras correlações existem por exemplo, entre  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com  $\text{MgO}$  (0,98),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,97),  $\text{MnO}$  (0,91) e  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,96) associando a composição química dos sedimentos do rio Cunani com a área fonte e os aluminossilicatos. As razões mais elevadas de  $\text{Zr/Hf}$ ,  $\text{Th/U}$ ,  $\text{Th/Sc}$ ,  $\text{La/Sc}$  e  $\text{Zr/Sc}$  nos sedimentos de fundo, ocorrem devido a maior afinidade

da associação Zr-Hf-Th com fases mais grosseiras, principalmente na constituição de minerais resitados como o zircão.

A assembleia mineralógica (A) representativa dos minerais pesados transparentes identificados nos sedimentos lamosos é composta por hornblenda, epidoto, topázio, andaluzita, estauroлита, apatita, zircão, turmalina e rutilo. Essa assembleia difere daquela encontrada nos sedimentos mais grosseiros localizados a montante da área, provável área fonte, representada por zircão, rutilo, turmalina, hornblenda, epidoto e topázio (assembleia B).

A assembleia A apresentou maior diversidade mineralógica e maior abundância em minerais pesados instáveis (hornblenda, epidoto e topázio), enquanto a assembleia B é predominantemente composta por minerais estáveis como zircão e rutilo. Diferenças geoquímicas também foram encontradas nas duas regiões estudadas. Os sedimentos de fundo apresentaram razões químicas entre Zr/Sc; La/Sc; Th/Sc e Zr/Hf enriquecidas em relação aos sedimentos lamosos. As diferenças mineralógicas e geoquímicas identificadas entre os sedimentos de fundo e de trado, indicaram a influência de fontes de proveniência distintas.

A fonte dos sedimentos mais grosseiros situados a montante é considerada como sendo predominantemente a partir das rochas do Granito Cunani, podendo, subordinadamente, também, esses sedimentos serem provindos da Suíte Cricou e pelo Granodiorito Carnot no fornecimento de minerais como hornblenda e epidoto.

Similaridades geoquímicas como a concentração de Zn, Ni e Co e a composição dos óxidos principais ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), granulométricas (predominância da fração pelítica), mineralógicas (sedimentos constituídos por quartzo, esmectita, caulinita e illita) foram encontradas entre os sedimentos lamosos do rio Cunani e os sedimentos constituintes da plataforma Amazônica. Aliado ao fato de que o rio Cunani é considerado um estuário importador de sedimentos, considera-se a hipótese de que os sedimentos lamosos do rio Cunani podem ser provenientes da pluma Amazônica.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R.C.B.; PATCHINEELAM, S.R. Especiação de metais traço em sedimentos de florestas de manguezais com *Avicennia* e *Rhizophora*. **Rev. Química Nova**, v. 23, n 6, p. 733-736, 2000.
- BARBOSA, I. C. C.; MÜLLER, R. C. S.; ALVES, C. N.; BERRÊDO, J. F.; SOUZA FILHO, P. W. M. Composição Química de Sedimento de Manguezal do Estuário Bragantino (PA) – Brasil. **Rev. Virtual Química**, v. 7, n 4, p. 1087-110, 2015.
- BARROS, C.E.; NARDI, L.V.S.; DILLENBURG, S.R. 2005. **Gequímica de minerais detríticos em estudo de proveniência**: Uma revisão. Instituto de geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- BEZERRA, I.S.A.A. **Depósitos pleistocenos da formação Itauba: paleoambiente e implicações na evolução da planície costeira do Amapá**. Dissertação (mestrado em geologia) - Universidade federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de pós-graduação em geologia e geoquímica, 2014.
- CASTRO, P.; HUBER, E. M. Entre Maré. In: Castro, PETER e HUBER, Michael E. (Org.). **Biologia Marinha**. Porto Alegre: AMGH Ltda, 2012. p. 261-263.
- CORRÊA, I.C.S. Aplicação do Diagrama de Pejrup na Interpretação da Sedimentação e da Dinâmica do Estuário da Baía de Marajó-PA. **Rev. Pesquisas em Geociências**, v. 32, n 2, p. 109 – 118, 2005.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Carta geológica do Brasil 1:1.000.000**: Folha NA.22- Macapá. Brasília, DF, 2004. CD-ROM.
- \_\_\_\_\_. Serviço Geológico do Brasil. **Carta geológica do Brasil 1:1.000.000**: Folha NA. 22. V.D- Lourenço. Brasília, DF, 2014. CD-ROM.
- CULLERS, R.L. The chemical signature of source rocks in size fractions of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the wet mountains region, Colorado, USA. **Chemical Geology**, v, 111, p. 327-343, 1994.
- FRANÇA, P.P. **Caracterização de minerais pesados e avaliação da radioatividade natural “in situ” em sedimentos praias de Acaú, Carne de Vaca e Ponta de Pedras do estuário do rio Goiana**. 2013. Dissertação (mestrado em geologia)- Universidade

Federal de Pernambuco, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências,.

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

GIBBS, R.J. The bottom sediments of the Amazon shelf and tropical Atlantic Ocean. *Marine. Geology*, 1973, v 14. p. 39-45.

GONÇALVES, W.F.L. **Sazonalidade geoquímica em águas intersticiais, superficiais e sedimentos estuarinos Cubatão (SP), impactados por atividades industriais**. 2009. Dissertação (mestrado em geologia). Universidade estadual de Campinas, Instituto de geociências.

HERZ, R. **Manguezais do Brasil**. Laboratorio de Sensoriamento Remoto, Departamento de Oceanografia Física, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 1991, p 15.

HUBERT, J.F. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. *J. Sed. Petrol.* v 2, p. 440-450, 1962.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População dos municípios do Amapá**. 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 nov. 2015

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA- INMET. 2004. **Características climáticas do Amapá**. 2004. Disponível em: <[www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)>. Acesso em: 15 nov. 2015. >

IVANOFF, M. D; TOLDO Jr., E.E; FIGUEIRA, R.C.L. 2014. Sedimentação da Lagoa Itapeva, RS. *Pesquisas em Geociências*, v 41, n 1. p. 03-13, 2014.

IVANOFF, M.D; ERNESTINO TOLDO JÚNIOR, E; PORTANTIOLO MANZOLLI, R; FIGUEIRA, C.L.R.; FERREIRA, A. L. P. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da dinâmica sedimentar da Lagoa Itapeva – RS - Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA – SINAGEO, 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...: geomorfologia e eventos catastróficos: passado, presente e futuro**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2012

LIMA, E.A.R. **Avaliação geoquímica da ocorrência de metais pesados selecionados em sedimentos pelíticos da plataforma continental do Amazonas, no trecho entre a foz do rio Pará e o cabo Orange**. 2003. Dissertação (mestrado em geoquímica)- Universidade Federal do Pará , Instituto de Geociências.

LIMA, E.A.R.; LIMA, W.N.; SIQUEIRA, G.W.; SIQUEIRA, N.V.M. Influência da mineralogia na composição química de metais pesados nos sedimentos pelíticos superficiais da plataforma continental do Amazonas. **Rev. Geochimica Brasiliensis**, v. 19, n 2. p. 103-117, 2005.

LIMA, M. I. C. Geologia, In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM, folha NA/NB.22 Macapá. **Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro 2006, p. 6.

LIMA, M. I. C; BEZERRA, P. E. L.; ARAÚJO, H. J. T. 1991. Sistematização da geologia do estado do Amapá. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA- SBG, 3., 1991, Belém. **Anais...**, sensoriamento remoto e processamento de imagens de radar. p. 322-335. Belém: UFPA, 1991.

LIMA, M.M.R.B.F; NEUMANN, V.H; Lima, S.E; CASTRO, M.T.T; LIMA, E.A.M; MORAES, M.A; DA SILVA, R.F. Comportamento geoquímico ambiental de elementos terras raras em sedimentos pelítico-orgânicos estuarinos do rio Jaboatão, nordeste do Brasil. **Rev. Estudos Geológicos**, v. 21, n 2. p. 03, 2011.

MARQUES, J.S.J.; RANGEL, T.P.; BRITO, F.P.; ALMEIDA, M.G.; SALOMÃO, M.S.M.B.; GOBO, A.A.R.; SOUZA-SANTOS, L.P.; ARAUJO-CASTRO, C.M.V; COSTA, M.F.; REZENDE, C.E. Geoquímica de metais em sedimentos da zona estuarina do complexo industrial Porto de Suape, PE- Brasil. **Revista da gestão costeira integrada**, v. 11, n 4. p. 379-387, 2011.

MARTINS, A.C.S.; DA LUZ, M.S.F.C. Cenário Climático atuante no Litoral Norte da Amazônia Brasileira, v. 02, n 1. p. 02, 1994.

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

MENDES, A. C. **Estudos sedimentológico e estratigráfico de sedimentos holocênicos da costa do Amapá**. 1994. Dissertação (mestrado em geologia) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica.

NIMER, E. **Clima**. In: Geografia do Brasil. Região Norte. Rio de Janeiro, IBGE, v. 3. p. 61-72, 1991.

OLIVEIRA, M.E.T. **Análise sismoestratigráfica da plataforma rasa da bacia da foz do Amazonas, mesomioceno a plioceno**. 1996. Dissertação (Mestrado em geologia).- Universidade Federal Fluminense , Departamento de Geologia da -Lagemar-UFF. Niterói-RJ.

PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: BOER, P.L.; GELDER, A. e NIO, S.D. (Ed). **Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies**, 1988. p.289-300.

PEREIRA, S.N.; LIMA, W.N.;EL-ROBRINI, M. Caracterização química e aspectos geoquímicos relevantes da matéria orgânica de sedimentos em suspensão na foz do rio Amazonas. **Rev. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, Belém, v. 1, n. 1, p. 167-179, 2006.

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

PLANO DE MANEJO PARQUE NACIONAL DO CABO ORANGE- PMNCO. **Plano manejo do parque nacional do Cabo Orange**. 2010. <Disponível em: [www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs)>. Acesso em: 17 out. 2015.

RADAR NA AMAZÔNIA- RADAM. Projeto Levantamento dos Recursos Naturais: Amapá. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, . v.6, 1974

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. 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, 1989.

SCAPIN, M.A. **Aplicação da difração e fluorescência de Raios-X (WDXRF): ensaios em argilominerais**. 2003. Dissertação (mestrado em ciências)- Universidade de São Paulo, Instituto de pesquisas energéticas e nucleares.

SCHETTINI, M.A.A; C.A.F. Estudo da dinâmica dos sedimentos em suspensão do estuário do rio Araranguá (Sc): possíveis efeitos da drenagem ácida da atividade de mineração de carvão Couceiro. **Rev UNESP Geociências**, v. 29, n. 2, p. 251-266, 2010.

SILVA, A.C.; ARAÚJO, M.; BOURLÈS, B. Seasonal variability of the Amazon River plume during REVIZEE Program. **Rev. Tropical Oceanography**, v. 1, n. 1, p. 22, 2007.

SILVA, J.P.F; SANTOS, V.F; FIGUEIREDO JR, A.G. Caracterização hidrológica e sedimentológica do estuário do rio Cuñani, Amapá: resultados preliminares. In: XV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário-ABEQUA, Trambáí-Imbé-RS. **Anais...: ecodiversidade e sua sustentabilidade no quaternário**, Rio Grande do Sul, 2015.

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

SILVEIRA, O. F.; SANTOS, V. F. Aspectos Geológicos-Geomorfológicos da Região Costeira entre o Rio Amapá Grande e a Região dos Lagos do Amapá. In: Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira – PROBIO. Macapá, AP. **Relatório Técnico-Científico Meio Físico**, 2006, p.196.

SIQUEIRA, G.W; LIMA, W.N.de; LIMA, E.A.R.de; MENDES, A.S.; BRAGA, E.S.; APRILE, F.M. Estudo geoquímico da ocorrência de metais pesados selecionados em sedimentos de fundo da plataforma continental do Amazonas- Norte do Brasil. In: SOUZA, V.S e HORBE, A.M.C (Org.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Manaus/Amazonas, 2005. v. 4, p. 12.

SIQUEIRA, G.W; PEREIRA, S.F.P; APRILE, F.P. 2006. Determinação dos elementos-traço (Zn, Co e Ni) em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica sob influência da descarga do rio Amazonas. **Rev. ACTA Amzônica**, v. 36, n. 3, p. 321 – 326, 2006.

SOUZA, E. D. J. **Geologia da Região Costeira do Amapá com ênfase na estratigrafia, morfotectônica e geomorfologia**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências.

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

TEIXEIRA, M.F. **Estudo mineralógico e geoquímicos dos sedimentos da região compreendida entre a foz do rio Araguari, e os cinturões lacustres meridional e ocidental, na zona costeira do estado do Amapá.** 2013. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências.

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

TORRES, A. M. **Sedimentology of the Amazon Mouth: North and South Channels, Brazil.** 1997. Tese de Doutorado (doutorado em paleontologia). Universidade Christian-Albrechts, Instituto de Geociências em Kiel.

TORRES, A. M.; EL-ROBRINI, M. Amapá. In: MUEHE, (Org). **Erosão e Progradação do litoral Brasileiro.** Brasília: M.M.A, 2006. p.475.

VILELA, C.P.X. **Influência da hidrodinâmica sobre os processos de acumulação de sedimentos finos no estuário do rio Amazonas.** 2011. Tese de Doutorado (doutorado em engenharia oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica.

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

XAVIER, D de A. **Características sedimentológicas e físico-químicas do Rio Sucuriçu, Cabo Norte, Amapá, Brasil.** 2012. Tese de doutorado (doutorado em geologia). Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências., Departamento de Oceanografia Programa de Pós-graduação em Oceanografia.

## **APÊNDICES**



**TABELA DE CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS MAIORES, C, S E PERDA AO FOGO**

| <b>Amostras</b> | <b>SiO<sub>2</sub> %</b> | <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b> | <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b> | <b>MgO %</b> | <b>K<sub>2</sub>O %</b> | <b>CaO</b> | <b>TiO<sub>2</sub></b> | <b>Na<sub>2</sub>O</b> | <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> | <b>TOT/C %</b> | <b>TOT/S %</b> | <b>LOI %</b> |
|-----------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-------------------------|------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|--------------|
| <b>TR 01</b>    | 55,84                    | 17,94                                | 7,40                                 | 2,44         | 1,79                    | 0,47       | 0,91                   | 0,70                   | 0,15                              | 1,48           | 0,16           | 12,0         |
| <b>TR 02</b>    | 60,51                    | 16,10                                | 6,74                                 | 2,38         | 1,69                    | 0,52       | 0,80                   | 0,97                   | 0,13                              | 0,86           | 0,16           | 9,8          |
| <b>TR 03</b>    | 56,65                    | 17,40                                | 7,15                                 | 2,47         | 1,74                    | 0,49       | 0,87                   | 0,90                   | 0,15                              | 0,97           | 0,17           | 11,9         |
| <b>TR 04</b>    | 54,55                    | 17,98                                | 7,52                                 | 2,48         | 1,77                    | 0,46       | 0,91                   | 0,87                   | 0,16                              | 1,35           | 0,18           | 13,0         |
| <b>TR 05</b>    | 57,65                    | 17,16                                | 7,07                                 | 2,45         | 1,72                    | 0,48       | 0,87                   | 0,88                   | 0,15                              | 0,97           | 0,13           | 11,2         |
| <b>TR 06</b>    | 58,36                    | 17,36                                | 6,99                                 | 2,44         | 1,74                    | 0,49       | 0,89                   | 0,73                   | 0,15                              | 0,93           | 0,12           | 10,5         |
| <b>TR 07</b>    | 53,46                    | 19,29                                | 7,63                                 | 2,65         | 1,99                    | 0,43       | 0,89                   | 0,67                   | 0,15                              | 0,85           | 0,10           | 12,5         |
| <b>TR 08</b>    | 54,59                    | 19,03                                | 7,60                                 | 2,60         | 1,99                    | 0,45       | 0,90                   | 0,70                   | 0,15                              | 0,86           | 0,11           | 11,6         |
| <b>TR 09</b>    | 55,75                    | 18,33                                | 7,55                                 | 2,56         | 1,89                    | 0,47       | 0,91                   | 0,78                   | 0,15                              | 1,01           | 0,14           | 11,3         |
| <b>TR 10</b>    | 54,16                    | 18,83                                | 7,53                                 | 2,64         | 1,98                    | 0,45       | 0,88                   | 0,78                   | 0,16                              | 0,86           | 0,11           | 12,2         |
| <b>TR 11</b>    | 53,07                    | 19,45                                | 7,65                                 | 2,64         | 2,01                    | 0,43       | 0,85                   | 0,79                   | 0,15                              | 0,81           | 0,10           | 12,6         |
| <b>TR 12</b>    | 55,61                    | 17,97                                | 7,35                                 | 2,51         | 1,85                    | 0,46       | 0,88                   | 0,73                   | 0,15                              | 0,90           | 0,15           | 12,2         |
| <b>TR 13</b>    | 54,90                    | 19,04                                | 7,52                                 | 2,62         | 1,96                    | 0,45       | 0,88                   | 0,77                   | 0,15                              | 0,84           | 0,11           | 11,4         |
| <b>TR 14</b>    | 58,76                    | 16,92                                | 7,20                                 | 2,44         | 1,72                    | 0,51       | 0,87                   | 0,91                   | 0,15                              | 0,80           | 0,17           | 10,2         |
| <b>TR 15</b>    | 53,30                    | 19,99                                | 7,00                                 | 2,72         | 1,90                    | 0,38       | 0,91                   | 0,83                   | 0,13                              | 0,96           | 0,42           | 12,6         |
| <b>TR 16</b>    | 52,69                    | 20,25                                | 7,23                                 | 2,80         | 1,90                    | 0,37       | 0,90                   | 0,84                   | 0,13                              | 0,92           | 0,43           | 12,6         |
| <b>TR 17</b>    | 52,79                    | 19,84                                | 7,89                                 | 2,69         | 2,11                    | 0,43       | 0,90                   | 0,66                   | 0,15                              | 0,91           | 0,11           | 12,2         |
| <b>TR 18</b>    | 60,69                    | 15,87                                | 6,71                                 | 2,32         | 1,61                    | 0,52       | 0,84                   | 0,80                   | 0,14                              | 1,11           | 0,18           | 10,2         |
| <b>TR 19</b>    | 62,37                    | 15,42                                | 6,45                                 | 2,31         | 1,62                    | 0,54       | 0,78                   | 0,90                   | 0,13                              | 0,75           | 0,15           | 9,2          |
| <b>TR 20</b>    | 60,07                    | 16,14                                | 6,76                                 | 2,38         | 1,70                    | 0,51       | 0,80                   | 1,02                   | 0,13                              | 1,04           | 0,18           | 10,2         |
| <b>TR 21</b>    | 58,42                    | 16,94                                | 6,95                                 | 2,48         | 1,80                    | 0,50       | 0,83                   | 1,06                   | 0,14                              | 0,80           | 0,15           | 10,6         |
| <b>TR 22</b>    | 66,89                    | 12,80                                | 6,00                                 | 1,99         | 1,31                    | 0,52       | 0,74                   | 0,84                   | 0,12                              | 1,06           | 0,20           | 8,5          |
| <b>TR 23</b>    | 79,24                    | 7,72                                 | 4,24                                 | 1,47         | 0,89                    | 0,56       | 0,60                   | 0,85                   | 0,08                              | 0,32           | 0,07           | 4,1          |
| <b>TR 24</b>    | 76,28                    | 9,08                                 | 4,63                                 | 1,63         | 1,02                    | 0,56       | 0,59                   | 0,92                   | 0,08                              | 0,43           | 0,11           | 5,0          |
| <b>TR 25</b>    | 64,20                    | 14,15                                | 6,16                                 | 2,16         | 1,51                    | 0,52       | 0,75                   | 0,96                   | 0,12                              | 0,82           | 0,15           | 9,2          |
| <b>TR 26</b>    | 69,67                    | 11,46                                | 5,49                                 | 1,89         | 1,26                    | 0,54       | 0,65                   | 0,94                   | 0,11                              | 0,93           | 0,17           | 7,7          |

|              |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|--------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| <b>TR 27</b> | 61,63 | 15,53 | 6,54 | 2,32 | 1,66 | 0,52 | 0,81 | 1,05 | 0,13 | 0,79 | 0,18  | 9,5  |
| <b>TR 28</b> | 67,22 | 13,09 | 5,78 | 2,06 | 1,37 | 0,54 | 0,74 | 1,05 | 0,12 | 0,73 | 0,15  | 7,8  |
| <b>TR 29</b> | 60,83 | 15,56 | 6,44 | 2,35 | 1,67 | 0,54 | 0,77 | 1,20 | 0,13 | 1,09 | 0,22  | 10,2 |
| <b>TR 30</b> | 75,62 | 9,31  | 4,70 | 1,65 | 1,02 | 0,53 | 0,65 | 1,02 | 0,09 | 0,52 | 0,11  | 5,2  |
| <b>TR 31</b> | 54,14 | 19,31 | 7,58 | 2,70 | 2,04 | 0,46 | 0,87 | 1,15 | 0,15 | 0,73 | 0,10  | 11,3 |
| <b>TR 32</b> | 74,98 | 8,94  | 4,58 | 1,61 | 1,04 | 0,57 | 0,68 | 1,02 | 0,10 | 0,87 | 0,15  | 6,2  |
| <b>TR 33</b> | 76,70 | 8,46  | 4,51 | 1,56 | 1,00 | 0,59 | 0,62 | 1,04 | 0,09 | 0,59 | 0,12  | 5,2  |
| <b>TR 34</b> | 70,54 | 11,34 | 5,35 | 1,88 | 1,27 | 0,59 | 0,73 | 1,16 | 0,10 | 0,63 | 0,14  | 6,8  |
| <b>TR 35</b> | 68,43 | 12,45 | 5,59 | 2,01 | 1,38 | 0,57 | 0,74 | 1,19 | 0,12 | 0,64 | 0,15  | 7,3  |
| <b>TR 36</b> | 74,77 | 9,49  | 4,75 | 1,66 | 1,05 | 0,52 | 0,63 | 1,01 | 0,10 | 0,65 | 0,12  | 5,8  |
| <b>TR 37</b> | 71,24 | 11,48 | 5,10 | 1,90 | 1,25 | 0,60 | 0,69 | 1,09 | 0,11 | 0,36 | 0,11  | 6,3  |
| <b>TR 38</b> | 62,44 | 15,51 | 6,28 | 2,36 | 1,61 | 0,53 | 0,79 | 1,21 | 0,14 | 0,57 | 0,13  | 8,8  |
| <b>TR 39</b> | 53,57 | 19,47 | 7,52 | 2,77 | 2,03 | 0,48 | 0,86 | 1,29 | 0,16 | 0,64 | 0,17  | 11,5 |
| <b>TR 40</b> | 52,58 | 19,38 | 7,50 | 2,79 | 2,11 | 0,44 | 0,84 | 1,53 | 0,15 | 0,60 | 0,22  | 12,3 |
| <b>TR 41</b> | 77,05 | 8,13  | 4,83 | 1,67 | 0,92 | 0,55 | 0,37 | 1,10 | 0,08 | 0,23 | 0,13  | 5,2  |
| <b>Média</b> | 62,01 | 15,36 | 6,47 | 2,28 | 1,61 | 0,50 | 0,95 | 0,79 | 0,13 | 0,81 | 0,16  | 12,0 |
| <b>DG 81</b> | 92,39 | 1,75  | 1,23 | 2,44 | 0,25 | 0,06 | 0,91 | 0,06 | 0,04 | 0,29 | <0,02 | 2,2  |
| <b>DG 82</b> | 90,80 | 3,13  | 0,99 | 2,38 | 0,35 | 0,07 | 0,80 | 0,08 | 0,04 | 0,95 | <0,02 | 3,5  |
| <b>DG 85</b> | 46,69 | 27,74 | 4,69 | 2,47 | 0,55 | 0,05 | 0,87 | 0,04 | 0,17 | 1,52 | 0,02  | 17,9 |
| <b>DG 87</b> | 89,23 | 4,29  | 1,25 | 2,48 | 0,47 | 0,06 | 0,91 | 0,08 | 0,04 | 0,38 | <0,02 | 3,3  |
| <b>DG 89</b> | 93,59 | 2,64  | 0,72 | 2,45 | 0,39 | 0,05 | 0,87 | 0,07 | 0,03 | 0,09 | <0,02 | 1,8  |

**TABELA ELEMENTOS TRAÇOS (Be-Zr) PPM**

| <b>Amostras</b> | <b>Be</b> | <b>P</b> | <b>Sc</b> | <b>Ti</b> | <b>V</b> | <b>Cr</b> | <b>Mn</b> | <b>Co</b> | <b>Ni</b> | <b>Cu</b> | <b>Zn</b> | <b>Ga</b> | <b>As</b> |
|-----------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>TR 01</b>    | 2         | 654      | 16        | 5400      | 133      | 68        | 852       | 16,6      | 26        | 23,5      | 84        | 23,4      | 18,7      |
| <b>TR 02</b>    | 2         | 567      | 14        | 4800      | 122      | 62        | 852       | 14,1      | 32        | 21        | 77        | 20,9      | 17,1      |
| <b>TR 03</b>    | 3         | 654      | 15        | 5220      | 130      | 55        | 852       | 15,5      | 30        | 23,5      | 83        | 23,1      | 18        |
| <b>TR 04</b>    | 5         | 698      | 16        | 5400      | 137      | 68        | 852       | 16,8      | 34        | 25,8      | 87        | 23,3      | 19,5      |
| <b>TR 05</b>    | 2         | 654      | 15        | 5220      | 133      | 68        | 774       | 15,3      | 30        | 22,8      | 84        | 21,7      | 14,7      |
| <b>TR 06</b>    | 2         | 654      | 15        | 5340      | 132      | 68        | 852       | 15,2      | 31        | 22,5      | 79        | 21,3      | 15,2      |
| <b>TR 07</b>    | 5         | 654      | 17        | 5340      | 144      | 82        | 929       | 17,4      | 32        | 24,3      | 86        | 23,8      | 16,1      |
| <b>TR 08</b>    | 6         | 654      | 17        | 5400      | 142      | 68        | 929       | 17,5      | 31        | 24,1      | 83        | 24,7      | 17,6      |
| <b>TR 09</b>    | 3         | 654      | 17        | 5400      | 141      | 75        | 929       | 16,9      | 32        | 24        | 83        | 23,2      | 16,9      |
| <b>TR 10</b>    | 2         | 698      | 17        | 5280      | 143      | 75        | 1007      | 18,1      | 35        | 24,9      | 87        | 24,3      | 14,4      |
| <b>TR 11</b>    | 6         | 654      | 17        | 5100      | 147      | 82        | 1007      | 17,7      | 30        | 25,6      | 87        | 24,1      | 15,5      |
| <b>TR 12</b>    | 3         | 654      | 16        | 5280      | 136      | 68        | 929       | 17,4      | 34        | 24,2      | 89        | 23,5      | 20,2      |
| <b>TR 13</b>    | 2         | 654      | 17        | 5280      | 139      | 75        | 929       | 17,2      | 34        | 25,1      | 88        | 24,1      | 16,6      |
| <b>TR 14</b>    | 0,5       | 654      | 15        | 5280      | 131      | 68        | 852       | 16,4      | 33        | 22,8      | 82        | 21,3      | 20,6      |
| <b>TR 15</b>    | 3         | 567      | 18        | 5400      | 148      | 75        | 464       | 18,5      | 38        | 25,8      | 85        | 26,2      | 22,1      |
| <b>TR 16</b>    | 5         | 567      | 18        | 5400      | 151      | 82        | 542       | 19        | 34        | 26,5      | 92        | 26,1      | 15,3      |
| <b>TR 17</b>    | 3         | 654      | 18        | 5400      | 148      | 82        | 542       | 17,9      | 38        | 26,1      | 92        | 26,6      | 17,6      |
| <b>TR 18</b>    | 0,5       | 611      | 14        | 5040      | 121      | 68        | 1007      | 15,4      | 33        | 20,4      | 74        | 19,1      | 17,6      |
| <b>TR 19</b>    | 3         | 567      | 14        | 4680      | 115      | 62        | 697       | 14,2      | 29        | 20        | 73        | 19,2      | 17,8      |
| <b>TR 20</b>    | 2         | 567      | 14        | 4800      | 122      | 62        | 1007      | 15,1      | 27        | 22,2      | 77        | 20,1      | 18,2      |
| <b>TR 21</b>    | 2         | 611      | 15        | 4980      | 128      | 68        | 852       | 14,9      | 29        | 23,2      | 82        | 21        | 17,9      |
| <b>TR 22</b>    | 2         | 523      | 11        | 4440      | 97       | 55        | 542       | 12,9      | 26        | 16,1      | 65        | 15,1      | 15,9      |
| <b>TR 23</b>    | 0,5       | 349      | 7         | 3600      | 60       | 34        | 387       | 9,3       | 17        | 6         | 46        | 9,6       | 9,4       |
| <b>TR 24</b>    | 0,5       | 349      | 8         | 3600      | 66       | 34        | 387       | 9,9       | 17        | 8,9       | 53        | 10,9      | 12,1      |
| <b>TR 25</b>    | 2         | 523      | 12        | 4500      | 104      | 62        | 697       | 13,4      | 28        | 19,7      | 75        | 17,4      | 17,5      |
| <b>TR 26</b>    | 3         | 480      | 10        | 3900      | 87       | 41        | 542       | 12        | 24        | 15,5      | 68        | 14,3      | 16        |
| <b>TR 27</b>    | 5         | 567      | 14        | 4860      | 117      | 48        | 697       | 13,7      | 33        | 18,4      | 72        | 18,8      | 17,6      |

|              |     |     |       |      |       |      |       |       |      |      |    |      |      |
|--------------|-----|-----|-------|------|-------|------|-------|-------|------|------|----|------|------|
| <b>TR 28</b> | 0,5 | 523 | 11    | 4440 | 99    | 41   | 542   | 12,8  | 25   | 16,6 | 71 | 15,7 | 15,9 |
| <b>TR 29</b> | 3   | 567 | 13    | 4620 | 116   | 62   | 697   | 15,4  | 30   | 21,1 | 74 | 19   | 19   |
| <b>TR 30</b> | 4   | 393 | 8     | 3900 | 72    | 34   | 387   | 10,2  | 22   | 9,7  | 54 | 11,3 | 10,8 |
| <b>TR 31</b> | 4   | 654 | 17    | 5220 | 143   | 82   | 929   | 17,4  | 33   | 26,4 | 89 | 24,9 | 18,5 |
| <b>TR 32</b> | 0,5 | 436 | 8     | 4080 | 70    | 41   | 464   | 9,8   | 17   | 11,1 | 55 | 10,8 | 12,2 |
| <b>TR 33</b> | 0,5 | 393 | 8     | 3720 | 65    | 34   | 387   | 10,2  | 17   | 8,7  | 50 | 10,1 | 11,2 |
| <b>TR 34</b> | 0,5 | 436 | 10    | 4380 | 88    | 55   | 464   | 11,6  | 29   | 13,4 | 64 | 13,6 | 14,1 |
| <b>TR 35</b> | 4   | 523 | 11    | 4440 | 94    | 48   | 542   | 13,3  | 28   | 15,3 | 64 | 14,4 | 14,7 |
| <b>TR 36</b> | 4   | 480 | 8     | 3780 | 75    | 48   | 387   | 10,6  | 24   | 9,9  | 53 | 12   | 10,5 |
| <b>TR 37</b> | 0,5 | 436 | 10    | 4140 | 82    | 55   | 464   | 11,6  | 26   | 12   | 58 | 14,5 | 12,8 |
| <b>TR 38</b> | 2   | 611 | 13    | 4740 | 113   | 68   | 697   | 14,5  | 33   | 18,8 | 75 | 20,3 | 12,8 |
| <b>TR 39</b> | 6   | 698 | 17    | 5160 | 139   | 82   | 929   | 17,3  | 38   | 26   | 91 | 24,8 | 14,6 |
| <b>TR 40</b> | 5   | 654 | 17    | 5040 | 142   | 82   | 929   | 16,9  | 39   | 24,6 | 93 | 24,9 | 14,4 |
| <b>TR 41</b> | 3   | 349 | 6     | 2220 | 54    | 34   | 310   | 9,1   | 17   | 6,9  | 53 | 9,5  | 7,1  |
| <b>Média</b> | 2,7 | 567 | 13,51 | 4737 | 115,2 | 61,4 | 718,1 | 14,61 | 29,1 | 19,6 | 75 | 19,3 | 15,7 |
| <b>DG 81</b> | <1  | 393 | 3     | 5400 | 23    | 68   | 852   | 29,5  | 2,1  | 3,8  | 6  | 3,4  | 18,7 |
| <b>DG 82</b> | 2   | 654 | 2     | 4800 | 17    | 62   | 852   | 33,5  | 3,3  | 4,4  | 12 | 4,5  | 17,1 |
| <b>DG 85</b> | 2   | 436 | 11    | 5220 | 107   | 55   | 852   | 19,5  | 8,4  | 11,0 | 24 | 41,2 | 18   |
| <b>DG 87</b> | <1  | 393 | 3     | 5400 | 22    | 68   | 852   | 13,4  | 3,4  | 3,1  | 14 | 7,0  | 19,5 |
| <b>DG 89</b> | 2   | 436 | 2     | 5220 | 11    | 68   | 774   | 30,2  | 3,0  | 3,1  | 6  | 3,9  | 14,7 |

**TABELA ELEMENTOS TRAÇOS (Nb-U) PPM**

| <b>AMOSTRAS</b> | <b>Sr</b> | <b>Y</b> | <b>Zr</b> | <b>Nb</b> | <b>Mo</b> | <b>Sn</b> | <b>Cs</b> | <b>Ba</b> | <b>Hf</b> | <b>Ta</b> | <b>Pb</b> | <b>Th</b> | <b>U</b> |
|-----------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <b>TR 01</b>    | 131,8     | 33,8     | 285,5     | 16,7      | 0,4       | 4         | 9,3       | 445       | 7,2       | 131,8     | 25,3      | 15,7      | 4        |
| <b>TR 02</b>    | 144,1     | 31,9     | 251,8     | 17,5      | 0,4       | 4         | 7,6       | 396       | 7,2       | 144,1     | 22,4      | 13,2      | 3,8      |
| <b>TR 03</b>    | 138,7     | 33       | 258,8     | 18,5      | 0,4       | 4         | 8,3       | 400       | 7,2       | 138,7     | 24,9      | 14,4      | 3,9      |
| <b>TR 04</b>    | 133,3     | 34,9     | 261,5     | 17,3      | 0,4       | 4         | 8,8       | 429       | 6,8       | 133,3     | 27,1      | 16,9      | 4,5      |
| <b>TR 05</b>    | 139,3     | 30,6     | 310,5     | 17,3      | 0,3       | 4         | 8,4       | 423       | 7,1       | 139,3     | 24,2      | 14,4      | 3,9      |
| <b>TR 06</b>    | 144,3     | 33       | 204,7     | 17,7      | 0,4       | 4         | 8,7       | 414       | 8,5       | 144,3     | 22,9      | 15,3      | 3,9      |
| <b>TR 07</b>    | 139,2     | 31,2     | 209,8     | 17,9      | 0,4       | 4         | 9,6       | 420       | 5,8       | 139,2     | 24,8      | 15,7      | 3,8      |
| <b>TR 08</b>    | 138       | 34,6     | 242       | 17,5      | 0,4       | 4         | 10,6      | 428       | 5,5       | 138       | 25,4      | 15,7      | 4        |
| <b>TR 09</b>    | 136,8     | 33,9     | 218,4     | 16,8      | 0,4       | 4         | 9,4       | 426       | 6,5       | 136,8     | 25        | 15,4      | 3,8      |
| <b>TR 10</b>    | 133,8     | 34,2     | 189,3     | 17,8      | 0,4       | 4         | 10,4      | 410       | 5,7       | 133,8     | 25,3      | 15,2      | 3,6      |
| <b>TR 11</b>    | 141,6     | 31,7     | 231,7     | 17,3      | 0,4       | 4         | 10,6      | 450       | 5,2       | 141,6     | 25,6      | 17,2      | 4        |
| <b>TR 12</b>    | 139,8     | 32,1     | 212,6     | 17,6      | 0,4       | 4         | 9,6       | 428       | 6,3       | 139,8     | 24,8      | 15,3      | 3,9      |
| <b>TR 13</b>    | 141,4     | 33,4     | 259,4     | 17,4      | 0,4       | 4         | 10,4      | 405       | 5,7       | 141,4     | 24,9      | 16,3      | 3,6      |
| <b>TR 14</b>    | 142,6     | 33,2     | 192,9     | 18,3      | 0,5       | 4         | 8,6       | 412       | 7         | 142,6     | 23,7      | 15,4      | 3,8      |
| <b>TR 15</b>    | 134,7     | 33,6     | 176,9     | 18,9      | 0,4       | 4         | 10,6      | 444       | 5,3       | 134,7     | 24,2      | 16,1      | 3,4      |
| <b>TR 16</b>    | 137       | 33,4     | 176,3     | 17,8      | 0,3       | 4         | 10,4      | 437       | 4,7       | 137       | 25,4      | 17,2      | 3,8      |
| <b>TR 17</b>    | 143,9     | 33,4     | 340,3     | 15,9      | 0,3       | 4         | 10,5      | 441       | 5,5       | 143,9     | 26,7      | 17,7      | 4,1      |
| <b>TR 18</b>    | 131,8     | 33,2     | 314,8     | 15,1      | 0,4       | 3         | 8,2       | 396       | 8,8       | 131,8     | 19,8      | 14,2      | 3,5      |
| <b>TR 19</b>    | 139,9     | 31,4     | 283,5     | 15,5      | 0,3       | 3         | 6,7       | 380       | 8,3       | 139,9     | 20        | 14,6      | 3,4      |
| <b>TR 20</b>    | 138,4     | 30,2     | 246,3     | 16        | 0,5       | 3         | 7,8       | 412       | 7,8       | 138,4     | 20,7      | 12,9      | 3,5      |
| <b>TR 21</b>    | 138,6     | 30,6     | 388,8     | 14,4      | 0,3       | 3         | 8,8       | 392       | 6,4       | 138,6     | 22,5      | 14        | 3,6      |
| <b>TR 22</b>    | 126,7     | 29,4     | 613,2     | 10,6      | 0,2       | 3         | 5,7       | 344       | 10,1      | 126,7     | 17,3      | 11,9      | 3,4      |
| <b>TR 23</b>    | 109,6     | 23,4     | 410,3     | 10,9      | 0,3       | 2         | 2,7       | 275       | 15,6      | 109,6     | 8,6       | 10,5      | 3,1      |
| <b>TR 24</b>    | 119,1     | 22,9     | 348       | 13,4      | 0,3       | 2         | 3,1       | 296       | 10,7      | 119,1     | 11,2      | 9,2       | 2,5      |
| <b>TR 25</b>    | 132,6     | 29,4     | 385,2     | 12,7      | 0,3       | 3         | 6,5       | 379       | 8,9       | 132,6     | 19,9      | 13        | 3,3      |
| <b>TR 26</b>    | 124,2     | 24,6     | 320,8     | 14,8      | 0,4       | 2         | 5,5       | 327       | 9,8       | 124,2     | 16,4      | 10,7      | 2,8      |
| <b>TR 27</b>    | 129,7     | 31,2     | 346,2     | 14,1      | 0,3       | 3         | 7,6       | 384       | 8,6       | 129,7     | 20,1      | 13,1      | 3,5      |

|              |        |       |        |      |      |      |      |        |      |        |       |       |      |
|--------------|--------|-------|--------|------|------|------|------|--------|------|--------|-------|-------|------|
| <b>TR 28</b> | 134,7  | 28    | 280    | 14,5 | 0,3  | 2    | 5,5  | 357    | 8,9  | 134,7  | 18,2  | 11,7  | 3,5  |
| <b>TR 29</b> | 139,6  | 30,2  | 576,7  | 12   | 0,3  | 3    | 8,1  | 384    | 7,3  | 139,6  | 20,9  | 13,2  | 3,3  |
| <b>TR 30</b> | 119,3  | 25,2  | 191,5  | 16,6 | 0,5  | 2    | 3,9  | 303    | 14,8 | 119,3  | 12    | 9,4   | 2,6  |
| <b>TR 31</b> | 142,2  | 30,9  | 680,2  | 13,9 | 0,3  | 4    | 11,1 | 425    | 5    | 142,2  | 25,1  | 15,5  | 3,5  |
| <b>TR 32</b> | 124,2  | 30,5  | 547,2  | 11,9 | 0,2  | 2    | 3,3  | 294    | 17,2 | 124,2  | 12,2  | 10,2  | 3,3  |
| <b>TR 33</b> | 118,7  | 27,6  | 535    | 13,2 | 0,3  | 2    | 3    | 294    | 13,8 | 118,7  | 10,9  | 8,4   | 3,2  |
| <b>TR 34</b> | 132,8  | 27,1  | 500,6  | 13,9 | 0,4  | 2    | 4,4  | 353    | 13,8 | 132,8  | 15,1  | 10    | 3,3  |
| <b>TR 35</b> | 131,8  | 28,3  | 514,2  | 12,7 | 0,2  | 2    | 5,7  | 358    | 12,5 | 131,8  | 15,6  | 12,6  | 3,5  |
| <b>TR 36</b> | 114,6  | 24,1  | 447    | 14   | 0,3  | 4    | 3,5  | 294    | 12,4 | 114,6  | 12,6  | 9,9   | 2,7  |
| <b>TR 37</b> | 131,3  | 26,8  | 347,5  | 15,2 | 0,4  | 3    | 4,8  | 347    | 11,5 | 131,3  | 13,2  | 11,7  | 3    |
| <b>TR 38</b> | 137,9  | 28,4  | 192,2  | 16,9 | 0,3  | 3    | 7,5  | 397    | 8,9  | 137,9  | 19,1  | 14    | 3,2  |
| <b>TR 39</b> | 135    | 31,6  | 172    | 16,4 | 0,3  | 4    | 10,6 | 425    | 5,4  | 135    | 25,6  | 17,4  | 3,9  |
| <b>TR 40</b> | 133,4  | 30    | 148,5  | 18,6 | 0,9  | 4    | 10,2 | 438    | 4,6  | 133,4  | 24,2  | 16,5  | 3,7  |
| <b>TR 41</b> | 115,9  | 16    | 318,82 | 7,8  | 0,37 | 1    | 2,6  | 311    | 4,2  | 115,9  | 10,3  | 7,1   | 1,7  |
| <b>Média</b> | 133,23 | 30,07 | 259,5  | 18,6 | 0,5  | 3,24 | 7,53 | 384,71 | 8,35 | 133,23 | 20,34 | 13,63 | 3,48 |
| <b>DG 81</b> | 20,5   | 13,8  | 3743,1 | 18,3 | 0,4  | 1    | 9,3  | 112    | 96,5 | 1,2    | 6,1   | 41,0  | 9,1  |
| <b>DG 82</b> | 27,7   | 6,2   | 1572,9 | 8,1  | 0,3  | 1    | 7,6  | 159    | 40,2 | 0,5    | 5,1   | 10,0  | 3,6  |
| <b>DG 85</b> | 74,6   | 18,3  | 1133,6 | 26,7 | 0,6  | 4    | 8,3  | 288    | 27,3 | 1,6    | 25,2  | 34,9  | 6,0  |
| <b>DG 87</b> | 33,8   | 7,9   | 1995,1 | 11,3 | 0,3  | 1    | 8,8  | 198    | 50,0 | 0,8    | 5,6   | 18,0  | 4,6  |
| <b>DG 89</b> | 29,2   | 4,8   | 860,0  | 7,6  | 0,3  | 1    | 8,4  | 156    | 22,0 | 0,5    | 3,8   | 16,2  | 2,4  |

**TABELA ELEMENTOS TRAÇOS (Nb-U) PPM**

| <b>AMOSTRAS</b> | <b>Sr</b> | <b>Y</b> | <b>Zr</b> | <b>Nb</b> | <b>Mo</b> | <b>Sn</b> | <b>Cs</b> | <b>Ba</b> | <b>Hf</b> | <b>Ta</b> | <b>Pb</b> | <b>Th</b> | <b>U</b> |
|-----------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <b>TR 01</b>    | 131,8     | 33,8     | 285,5     | 16,7      | 0,4       | 4         | 9,3       | 445       | 7,2       | 131,8     | 25,3      | 15,7      | 4        |
| <b>TR 02</b>    | 144,1     | 31,9     | 251,8     | 17,5      | 0,4       | 4         | 7,6       | 396       | 7,2       | 144,1     | 22,4      | 13,2      | 3,8      |
| <b>TR 03</b>    | 138,7     | 33       | 258,8     | 18,5      | 0,4       | 4         | 8,3       | 400       | 7,2       | 138,7     | 24,9      | 14,4      | 3,9      |
| <b>TR 04</b>    | 133,3     | 34,9     | 261,5     | 17,3      | 0,4       | 4         | 8,8       | 429       | 6,8       | 133,3     | 27,1      | 16,9      | 4,5      |
| <b>TR 05</b>    | 139,3     | 30,6     | 310,5     | 17,3      | 0,3       | 4         | 8,4       | 423       | 7,1       | 139,3     | 24,2      | 14,4      | 3,9      |
| <b>TR 06</b>    | 144,3     | 33       | 204,7     | 17,7      | 0,4       | 4         | 8,7       | 414       | 8,5       | 144,3     | 22,9      | 15,3      | 3,9      |
| <b>TR 07</b>    | 139,2     | 31,2     | 209,8     | 17,9      | 0,4       | 4         | 9,6       | 420       | 5,8       | 139,2     | 24,8      | 15,7      | 3,8      |
| <b>TR 08</b>    | 138       | 34,6     | 242       | 17,5      | 0,4       | 4         | 10,6      | 428       | 5,5       | 138       | 25,4      | 15,7      | 4        |
| <b>TR 09</b>    | 136,8     | 33,9     | 218,4     | 16,8      | 0,4       | 4         | 9,4       | 426       | 6,5       | 136,8     | 25        | 15,4      | 3,8      |
| <b>TR 10</b>    | 133,8     | 34,2     | 189,3     | 17,8      | 0,4       | 4         | 10,4      | 410       | 5,7       | 133,8     | 25,3      | 15,2      | 3,6      |
| <b>TR 11</b>    | 141,6     | 31,7     | 231,7     | 17,3      | 0,4       | 4         | 10,6      | 450       | 5,2       | 141,6     | 25,6      | 17,2      | 4        |
| <b>TR 12</b>    | 139,8     | 32,1     | 212,6     | 17,6      | 0,4       | 4         | 9,6       | 428       | 6,3       | 139,8     | 24,8      | 15,3      | 3,9      |
| <b>TR 13</b>    | 141,4     | 33,4     | 259,4     | 17,4      | 0,4       | 4         | 10,4      | 405       | 5,7       | 141,4     | 24,9      | 16,3      | 3,6      |
| <b>TR 14</b>    | 142,6     | 33,2     | 192,9     | 18,3      | 0,5       | 4         | 8,6       | 412       | 7         | 142,6     | 23,7      | 15,4      | 3,8      |
| <b>TR 15</b>    | 134,7     | 33,6     | 176,9     | 18,9      | 0,4       | 4         | 10,6      | 444       | 5,3       | 134,7     | 24,2      | 16,1      | 3,4      |
| <b>TR 16</b>    | 137       | 33,4     | 176,3     | 17,8      | 0,3       | 4         | 10,4      | 437       | 4,7       | 137       | 25,4      | 17,2      | 3,8      |
| <b>TR 17</b>    | 143,9     | 33,4     | 340,3     | 15,9      | 0,3       | 4         | 10,5      | 441       | 5,5       | 143,9     | 26,7      | 17,7      | 4,1      |
| <b>TR 18</b>    | 131,8     | 33,2     | 314,8     | 15,1      | 0,4       | 3         | 8,2       | 396       | 8,8       | 131,8     | 19,8      | 14,2      | 3,5      |
| <b>TR 19</b>    | 139,9     | 31,4     | 283,5     | 15,5      | 0,3       | 3         | 6,7       | 380       | 8,3       | 139,9     | 20        | 14,6      | 3,4      |
| <b>TR 20</b>    | 138,4     | 30,2     | 246,3     | 16        | 0,5       | 3         | 7,8       | 412       | 7,8       | 138,4     | 20,7      | 12,9      | 3,5      |
| <b>TR 21</b>    | 138,6     | 30,6     | 388,8     | 14,4      | 0,3       | 3         | 8,8       | 392       | 6,4       | 138,6     | 22,5      | 14        | 3,6      |
| <b>TR 22</b>    | 126,7     | 29,4     | 613,2     | 10,6      | 0,2       | 3         | 5,7       | 344       | 10,1      | 126,7     | 17,3      | 11,9      | 3,4      |
| <b>TR 23</b>    | 109,6     | 23,4     | 410,3     | 10,9      | 0,3       | 2         | 2,7       | 275       | 15,6      | 109,6     | 8,6       | 10,5      | 3,1      |
| <b>TR 24</b>    | 119,1     | 22,9     | 348       | 13,4      | 0,3       | 2         | 3,1       | 296       | 10,7      | 119,1     | 11,2      | 9,2       | 2,5      |
| <b>TR 25</b>    | 132,6     | 29,4     | 385,2     | 12,7      | 0,3       | 3         | 6,5       | 379       | 8,9       | 132,6     | 19,9      | 13        | 3,3      |
| <b>TR 26</b>    | 124,2     | 24,6     | 320,8     | 14,8      | 0,4       | 2         | 5,5       | 327       | 9,8       | 124,2     | 16,4      | 10,7      | 2,8      |
| <b>TR 27</b>    | 129,7     | 31,2     | 346,2     | 14,1      | 0,3       | 3         | 7,6       | 384       | 8,6       | 129,7     | 20,1      | 13,1      | 3,5      |

|              |        |       |        |      |      |      |      |        |      |        |       |       |      |
|--------------|--------|-------|--------|------|------|------|------|--------|------|--------|-------|-------|------|
| <b>TR 28</b> | 134,7  | 28    | 280    | 14,5 | 0,3  | 2    | 5,5  | 357    | 8,9  | 134,7  | 18,2  | 11,7  | 3,5  |
| <b>TR 29</b> | 139,6  | 30,2  | 576,7  | 12   | 0,3  | 3    | 8,1  | 384    | 7,3  | 139,6  | 20,9  | 13,2  | 3,3  |
| <b>TR 30</b> | 119,3  | 25,2  | 191,5  | 16,6 | 0,5  | 2    | 3,9  | 303    | 14,8 | 119,3  | 12    | 9,4   | 2,6  |
| <b>TR 31</b> | 142,2  | 30,9  | 680,2  | 13,9 | 0,3  | 4    | 11,1 | 425    | 5    | 142,2  | 25,1  | 15,5  | 3,5  |
| <b>TR 32</b> | 124,2  | 30,5  | 547,2  | 11,9 | 0,2  | 2    | 3,3  | 294    | 17,2 | 124,2  | 12,2  | 10,2  | 3,3  |
| <b>TR 33</b> | 118,7  | 27,6  | 535    | 13,2 | 0,3  | 2    | 3    | 294    | 13,8 | 118,7  | 10,9  | 8,4   | 3,2  |
| <b>TR 34</b> | 132,8  | 27,1  | 500,6  | 13,9 | 0,4  | 2    | 4,4  | 353    | 13,8 | 132,8  | 15,1  | 10    | 3,3  |
| <b>TR 35</b> | 131,8  | 28,3  | 514,2  | 12,7 | 0,2  | 2    | 5,7  | 358    | 12,5 | 131,8  | 15,6  | 12,6  | 3,5  |
| <b>TR 36</b> | 114,6  | 24,1  | 447    | 14   | 0,3  | 4    | 3,5  | 294    | 12,4 | 114,6  | 12,6  | 9,9   | 2,7  |
| <b>TR 37</b> | 131,3  | 26,8  | 347,5  | 15,2 | 0,4  | 3    | 4,8  | 347    | 11,5 | 131,3  | 13,2  | 11,7  | 3    |
| <b>TR 38</b> | 137,9  | 28,4  | 192,2  | 16,9 | 0,3  | 3    | 7,5  | 397    | 8,9  | 137,9  | 19,1  | 14    | 3,2  |
| <b>TR 39</b> | 135    | 31,6  | 172    | 16,4 | 0,3  | 4    | 10,6 | 425    | 5,4  | 135    | 25,6  | 17,4  | 3,9  |
| <b>TR 40</b> | 133,4  | 30    | 148,5  | 18,6 | 0,9  | 4    | 10,2 | 438    | 4,6  | 133,4  | 24,2  | 16,5  | 3,7  |
| <b>TR 41</b> | 115,9  | 16    | 318,82 | 7,8  | 0,37 | 1    | 2,6  | 311    | 4,2  | 115,9  | 10,3  | 7,1   | 1,7  |
| <b>Média</b> | 133,23 | 30,07 | 259,5  | 18,6 | 0,5  | 3,24 | 7,53 | 384,71 | 8,35 | 133,23 | 20,34 | 13,63 | 3,48 |
| <b>DG 81</b> | 20,5   | 13,8  | 3743,1 | 18,3 | 0,4  | 1    | 9,3  | 112    | 96,5 | 1,2    | 6,1   | 41,0  | 9,1  |
| <b>DG 82</b> | 27,7   | 6,2   | 1572,9 | 8,1  | 0,3  | 1    | 7,6  | 159    | 40,2 | 0,5    | 5,1   | 10,0  | 3,6  |
| <b>DG 85</b> | 74,6   | 18,3  | 1133,6 | 26,7 | 0,6  | 4    | 8,3  | 288    | 27,3 | 1,6    | 25,2  | 34,9  | 6,0  |
| <b>DG 87</b> | 33,8   | 7,9   | 1995,1 | 11,3 | 0,3  | 1    | 8,8  | 198    | 50,0 | 0,8    | 5,6   | 18,0  | 4,6  |
| <b>DG 89</b> | 29,2   | 4,8   | 860,0  | 7,6  | 0,3  | 1    | 8,4  | 156    | 22,0 | 0,5    | 3,8   | 16,2  | 2,4  |

**TABELAS DE ELEMENTOS TERRAS RARAS (PPM)**

| <b>Amostras</b> | <b>La</b> | <b>Ce</b> | <b>Pr</b> | <b>Nd</b> | <b>Sm</b> | <b>Eu</b> | <b>Gd</b> | <b>Tb</b> | <b>Dy</b> | <b>Ho</b> | <b>Er</b> | <b>Tm</b> | <b>Yb</b> | <b>Lu</b> |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>TR 01</b>    | 51,1      | 99,8      | 11,58     | 43,3      | 8,05      | 1,65      | 7,25      | 1,14      | 6,65      | 1,34      | 3,66      | 0,58      | 3,54      | 0,58      |
| <b>TR 02</b>    | 42,3      | 86,4      | 9,92      | 38,3      | 7,14      | 1,53      | 6,64      | 1,03      | 5,98      | 1,23      | 3,33      | 0,53      | 3,32      | 0,50      |
| <b>TR 03</b>    | 46,9      | 94,0      | 10,84     | 40,6      | 7,69      | 1,63      | 7,11      | 1,13      | 6,55      | 1,30      | 3,74      | 0,54      | 3,69      | 0,55      |
| <b>TR 04</b>    | 50,8      | 104,2     | 11,93     | 45,5      | 8,35      | 1,68      | 7,86      | 1,19      | 6,61      | 1,34      | 3,85      | 0,61      | 3,81      | 0,57      |
| <b>TR 05</b>    | 48,5      | 94,6      | 10,89     | 40,9      | 7,58      | 1,53      | 6,97      | 1,07      | 6,04      | 1,21      | 3,50      | 0,50      | 3,39      | 0,54      |
| <b>TR 06</b>    | 46,5      | 93,3      | 10,92     | 42,2      | 7,90      | 1,53      | 7,06      | 1,15      | 6,51      | 1,36      | 3,82      | 0,58      | 3,86      | 0,57      |
| <b>TR 07</b>    | 51,3      | 96,5      | 11,47     | 43,5      | 8,01      | 1,70      | 7,45      | 1,13      | 6,64      | 1,28      | 3,54      | 0,55      | 3,61      | 0,51      |
| <b>TR 08</b>    | 50,7      | 102,2     | 11,64     | 44,8      | 8,27      | 1,79      | 7,29      | 1,13      | 6,34      | 1,30      | 3,76      | 0,55      | 3,74      | 0,57      |
| <b>TR 09</b>    | 48,0      | 98,4      | 11,20     | 42,8      | 8,14      | 1,69      | 7,66      | 1,13      | 6,70      | 1,39      | 3,86      | 0,57      | 3,56      | 0,58      |
| <b>TR 10</b>    | 48,2      | 99,2      | 11,17     | 43,3      | 8,02      | 1,63      | 7,48      | 1,14      | 6,45      | 1,42      | 3,62      | 0,58      | 3,75      | 0,59      |
| <b>TR 11</b>    | 51,4      | 105,4     | 11,71     | 45,2      | 8,27      | 1,67      | 7,43      | 1,12      | 6,50      | 1,20      | 3,53      | 0,53      | 3,54      | 0,50      |
| <b>TR 12</b>    | 49,0      | 98,9      | 11,13     | 43,5      | 7,95      | 1,66      | 7,23      | 1,14      | 6,26      | 1,25      | 3,54      | 0,56      | 3,59      | 0,55      |
| <b>TR 13</b>    | 46,9      | 96,7      | 11,34     | 42,3      | 8,15      | 1,73      | 7,26      | 1,13      | 6,32      | 1,27      | 3,52      | 0,54      | 3,55      | 0,56      |
| <b>TR 14</b>    | 45,7      | 94,5      | 10,81     | 39,9      | 7,71      | 1,58      | 7,21      | 1,10      | 6,20      | 1,27      | 3,69      | 0,59      | 3,49      | 0,56      |
| <b>TR 15</b>    | 51,7      | 105,4     | 11,78     | 43,7      | 8,24      | 1,71      | 7,73      | 1,18      | 6,61      | 1,28      | 3,74      | 0,57      | 3,65      | 0,55      |
| <b>TR 16</b>    | 51,5      | 104,7     | 11,59     | 46,7      | 8,32      | 1,80      | 7,40      | 1,12      | 6,48      | 1,25      | 3,42      | 0,53      | 3,54      | 0,52      |
| <b>TR 17</b>    | 51,3      | 106,3     | 12,04     | 46,4      | 8,24      | 1,79      | 7,70      | 1,17      | 6,48      | 1,29      | 3,71      | 0,57      | 3,47      | 0,55      |
| <b>TR 18</b>    | 43,6      | 88,1      | 10,18     | 37,5      | 7,05      | 1,52      | 6,99      | 1,09      | 6,30      | 1,26      | 3,44      | 0,53      | 3,53      | 0,55      |
| <b>TR 19</b>    | 42,1      | 85,2      | 9,44      | 35,9      | 6,82      | 1,33      | 6,31      | 0,99      | 5,83      | 1,16      | 3,46      | 0,53      | 3,26      | 0,52      |
| <b>TR 20</b>    | 46,2      | 95,9      | 10,18     | 38,2      | 7,07      | 1,56      | 6,60      | 1,04      | 5,82      | 1,12      | 3,43      | 0,53      | 3,36      | 0,54      |
| <b>TR 21</b>    | 45,3      | 89,5      | 10,30     | 39,4      | 7,05      | 1,59      | 6,93      | 1,04      | 6,03      | 1,22      | 3,41      | 0,50      | 3,16      | 0,51      |
| <b>TR 22</b>    | 39,1      | 78,3      | 8,90      | 33,8      | 6,42      | 1,30      | 5,99      | 0,94      | 5,51      | 1,10      | 3,22      | 0,49      | 3,13      | 0,50      |
| <b>TR 23</b>    | 25,9      | 55,2      | 6,19      | 24,0      | 4,40      | 0,98      | 4,52      | 0,70      | 4,05      | 0,91      | 2,63      | 0,42      | 2,76      | 0,42      |
| <b>TR 24</b>    | 29,2      | 61,8      | 7,09      | 25,5      | 5,14      | 1,03      | 4,78      | 0,75      | 4,31      | 0,82      | 2,49      | 0,37      | 2,66      | 0,43      |
| <b>TR 25</b>    | 41,5      | 88,5      | 9,37      | 35,9      | 6,68      | 1,37      | 6,20      | 0,98      | 5,50      | 1,11      | 3,30      | 0,49      | 3,29      | 0,50      |

|              |       |       |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>TR 26</b> | 35,4  | 76,3  | 8,53  | 30,7 | 5,82  | 1,21 | 5,41 | 0,86 | 4,72 | 0,99 | 2,66 | 0,41 | 2,85 | 0,43 |
| <b>TR 27</b> | 40,2  | 82,6  | 9,55  | 38,0 | 6,75  | 1,41 | 6,74 | 0,97 | 6,01 | 1,17 | 3,52 | 0,50 | 3,38 | 0,51 |
| <b>TR 28</b> | 38,7  | 80,2  | 8,90  | 35,1 | 6,24  | 1,29 | 5,95 | 0,93 | 5,22 | 1,07 | 3,15 | 0,49 | 3,06 | 0,49 |
| <b>TR 29</b> | 42,0  | 86,8  | 9,55  | 38,3 | 7,12  | 1,52 | 6,36 | 1,00 | 5,45 | 1,06 | 3,21 | 0,45 | 3,22 | 0,49 |
| <b>TR 30</b> | 31,3  | 67,1  | 7,39  | 27,5 | 5,58  | 1,11 | 5,04 | 0,75 | 4,50 | 0,86 | 2,77 | 0,45 | 2,81 | 0,42 |
| <b>TR 31</b> | 49,9  | 104,0 | 11,03 | 41,8 | 7,90  | 1,67 | 7,24 | 1,07 | 6,27 | 1,20 | 3,61 | 0,49 | 3,35 | 0,48 |
| <b>TR 32</b> | 32,9  | 69,0  | 7,88  | 29,0 | 5,93  | 1,12 | 5,87 | 0,89 | 5,20 | 1,07 | 3,16 | 0,51 | 3,44 | 0,51 |
| <b>TR 33</b> | 31,6  | 65,7  | 7,42  | 28,8 | 5,46  | 1,12 | 5,27 | 0,85 | 5,09 | 0,98 | 2,95 | 0,44 | 2,90 | 0,49 |
| <b>TR 34</b> | 36,8  | 73,4  | 8,21  | 30,9 | 5,62  | 1,27 | 5,77 | 0,92 | 5,03 | 1,02 | 3,25 | 0,47 | 3,22 | 0,50 |
| <b>TR 35</b> | 40,4  | 85,6  | 9,26  | 36,2 | 6,59  | 1,34 | 6,07 | 0,96 | 5,38 | 1,11 | 3,45 | 0,50 | 3,17 | 0,53 |
| <b>TR 36</b> | 32,3  | 67,2  | 7,76  | 30,4 | 5,72  | 1,14 | 5,19 | 0,80 | 4,49 | 0,93 | 2,65 | 0,43 | 2,85 | 0,42 |
| <b>TR 37</b> | 35,0  | 69,6  | 7,92  | 31,1 | 5,46  | 1,22 | 5,51 | 0,85 | 4,97 | 1,07 | 2,92 | 0,45 | 3,03 | 0,48 |
| <b>TR 38</b> | 42,0  | 82,5  | 9,70  | 37,4 | 7,02  | 1,45 | 6,38 | 0,99 | 5,88 | 1,11 | 3,13 | 0,51 | 3,28 | 0,51 |
| <b>TR 39</b> | 48,0  | 101,3 | 11,51 | 43,0 | 8,10  | 1,65 | 7,63 | 1,09 | 6,39 | 1,22 | 3,33 | 0,50 | 3,26 | 0,47 |
| <b>TR 40</b> | 47,4  | 92,8  | 11,19 | 41,1 | 7,93  | 1,64 | 7,08 | 1,05 | 6,17 | 1,19 | 3,31 | 0,47 | 3,15 | 0,47 |
| <b>TR 41</b> | 21,9  | 44,7  | 5,28  | 19,8 | 3,73  | 0,83 | 3,74 | 0,54 | 2,92 | 0,57 | 1,58 | 0,26 | 1,64 | 0,25 |
| <b>Média</b> | 42,7  | 87,1  | 9,87  | 37,6 | 7,02  | 1,46 | 6,54 | 1,01 | 5,76 | 1,15 | 3,31 | 0,50 | 3,29 | 0,51 |
| <b>DG 81</b> | 75,8  | 99,8  | 14,95 | 51,7 | 7,06  | 0,41 | 5,00 | 1,14 | 2,38 | 0,49 | 1,70 | 0,33 | 2,51 | 0,53 |
| <b>DG 82</b> | 21,9  | 86,4  | 4,24  | 13,9 | 2,06  | 0,29 | 1,91 | 1,03 | 1,11 | 0,25 | 0,81 | 0,15 | 1,19 | 0,22 |
| <b>DG 85</b> | 102,8 | 94,0  | 19,24 | 68,6 | 10,07 | 1,81 | 7,47 | 1,13 | 4,41 | 0,74 | 1,92 | 0,30 | 1,98 | 0,32 |
| <b>DG 87</b> | 42,2  | 104,2 | 7,74  | 26,1 | 3,44  | 0,39 | 2,45 | 1,19 | 1,38 | 0,26 | 0,87 | 0,17 | 1,32 | 0,27 |
| <b>DG 89</b> | 32,2  | 94,6  | 6,10  | 20,4 | 2,60  | 0,24 | 2,09 | 1,07 | 0,85 | 0,19 | 0,52 | 0,10 | 0,77 | 0,14 |

**GRANULOMETRIA**

| <b>Amostras</b>  | <b>% Argila</b> | <b>%Silte</b> | <b>%Areia</b> |
|------------------|-----------------|---------------|---------------|
| <b>TR 01</b>     | 20,05           | 79,09         | 0,86          |
| <b>TR 01/04</b>  | 20              | 79,09         | 0,92          |
| <b>TR 10/8</b>   | 20              | 79,09         | 0,92          |
| <b>TR 10/10</b>  | 26,03           | 73,03         | 0,94          |
| <b>TR 11/14</b>  | 22,05           | 77,09         | 0,86          |
| <b>TR 11/16</b>  | 23,09           | 76,05         | 0,86          |
| <b>TR 12/18</b>  | 22,05           | 76,59         | 1,36          |
| <b>TR 12/20</b>  | 22,05           | 76,09         | 1,86          |
| <b>TR 13/23</b>  | 22,45           | 75,69         | 1,86          |
| <b>TR 13/25</b>  | 23,64           | 74,5          | 1,86          |
| <b>TR 14/33</b>  | 21,31           | 76,65         | 2,04          |
| <b>TR 14/35</b>  | 21,05           | 76,29         | 2,66          |
| <b>TR 14A/28</b> | 22,5            | 74            | 3,5           |
| <b>TR 14A/30</b> | 22,7            | 74,09         | 3,26          |
| <b>TR 15/38</b>  | 20,01           | 76,05         | 3,94          |
| <b>TR 15/40</b>  | 20              | 76,5          | 3,5           |
| <b>Média</b>     | 21,8            | 76,2          | 2,0           |

## TABELA DE CORRELAÇÃO 1

| Correlations (TABELA MAIORES E TRACOS)              |                  |                                |                                |                  |       |                  |                   |       |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|------------------|-------------------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Marked correlations are significant at $p < ,05000$ |                  |                                |                                |                  |       |                  |                   |       |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| N=41 (Casewise deletion of missing data)            |                  |                                |                                |                  |       |                  |                   |       |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Variable  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | MgO   | TiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | CaO   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | C     | S     | Co    | Cs    | Ba    | Be    | Nb    | Ni    | Rb    | Sc    | Sn    | Sr    | Ta    | Th    | Mb    | Pb    | Zn    | Cu    | Zr    | Hf    | Y     | V     | U     | As    | Ga    |
| SiO <sub>2</sub>                                    | 1,00             | -1,00                          | -0,99                          | -0,99            | -0,99 | -0,92            | 0,27              | 0,84  | -0,94                         | -0,59 | -0,31 | -0,98 | -0,99 | -0,97 | -0,50 | -0,93 | -0,89 | -0,99 | -0,99 | -0,85 | -0,83 | -0,82 | -0,95 | -0,22 | -0,99 | -0,98 | -0,99 | 0,83  | 0,82  | -0,83 | -0,99 | -0,80 | -0,73 | -0,99 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                      | -1,00            | 1,00                           | 0,98                           | 0,99             | 0,99  | 0,92             | -0,28             | -0,85 | 0,93                          | 0,56  | 0,32  | 0,98  | 0,99  | 0,97  | 0,49  | 0,93  | 0,89  | 0,99  | 1,00  | 0,86  | 0,83  | 0,81  | 0,96  | 0,21  | 0,98  | 0,98  | 0,99  | -0,83 | -0,82 | 0,83  | 1,00  | 0,79  | 0,72  | 0,99  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                      | -0,99            | 0,98                           | 1,00                           | 0,97             | 0,98  | 0,90             | -0,32             | -0,81 | 0,96                          | 0,60  | 0,20  | 0,96  | 0,97  | 0,96  | 0,48  | 0,90  | 0,86  | 0,97  | 0,98  | 0,84  | 0,83  | 0,80  | 0,94  | 0,25  | 0,99  | 0,97  | 0,98  | -0,85 | -0,84 | 0,82  | 0,98  | 0,80  | 0,72  | 0,97  |
| K <sub>2</sub> O                                    | -0,99            | 0,99                           | 0,97                           | 1,00             | 0,99  | 0,89             | -0,19             | -0,83 | 0,92                          | 0,50  | 0,34  | 0,97  | 0,98  | 0,97  | 0,51  | 0,89  | 0,91  | 0,99  | 0,98  | 0,83  | 0,83  | 0,79  | 0,94  | 0,24  | 0,96  | 0,98  | 0,98  | -0,85 | -0,85 | 0,79  | 0,98  | 0,75  | 0,69  | 0,99  |
| MgO   | -0,99            | 0,99                           | 0,98                           | 0,99             | 1,00  | 0,90             | -0,22             | -0,81 | 0,93                          | 0,51  | 0,24  | 0,97  | 0,99  | 0,96  | 0,51  | 0,89  | 0,89  | 0,99  | 0,99  | 0,83  | 0,84  | 0,82  | 0,95  | 0,19  | 0,97  | 0,97  | 0,98  | -0,82 | -0,81 | 0,81  | 0,98  | 0,78  | 0,69  | 0,98  |
| TiO <sub>2</sub>                                    | -0,92            | 0,92                           | 0,90                           | 0,89             | 0,90  | 1,00             | -0,36             | -0,73 | 0,91                          | 0,68  | 0,27  | 0,91  | 0,91  | 0,90  | 0,33  | 0,97  | 0,84  | 0,90  | 0,94  | 0,85  | 0,81  | 0,86  | 0,92  | -0,03 | 0,92  | 0,89  | 0,93  | -0,58 | -0,57 | 0,95  | 0,94  | 0,90  | 0,77  | 0,92  |
| Na <sub>2</sub> O                                   | 0,27             | -0,28                          | -0,32                          | -0,19            | -0,22 | -0,36            | 1,00              | 0,41  | -0,25                         | -0,46 | 0,06  | -0,32 | -0,27 | -0,25 | 0,04  | -0,40 | -0,06 | -0,22 | -0,31 | -0,36 | -0,19 | -0,30 | -0,30 | -0,05 | -0,32 | -0,22 | -0,27 | 0,20  | 0,18  | -0,41 | -0,31 | -0,34 | -0,30 | -0,29 |
| CaO   | 0,84             | -0,85                          | -0,81                          | -0,83            | -0,81 | -0,73            | 0,41              | 1,00  | -0,69                         | -0,46 | -0,44 | -0,86 | -0,85 | -0,79 | -0,58 | -0,78 | -0,70 | -0,86 | -0,85 | -0,78 | -0,51 | -0,65 | -0,82 | -0,26 | -0,82 | -0,83 | -0,81 | 0,76  | 0,76  | -0,63 | -0,85 | -0,58 | -0,49 | -0,86 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                       | -0,94            | 0,93                           | 0,96                           | 0,92             | 0,93  | 0,91             | -0,25             | -0,69 | 1,00                          | 0,61  | 0,11  | 0,91  | 0,93  | 0,92  | 0,42  | 0,91  | 0,85  | 0,92  | 0,92  | 0,84  | 0,82  | 0,83  | 0,92  | 0,14  | 0,95  | 0,93  | 0,94  | -0,73 | -0,72 | 0,85  | 0,94  | 0,84  | 0,69  | 0,92  |
| C   | -0,59            | 0,56                           | 0,60                           | 0,50             | 0,51  | 0,68             | -0,46             | -0,46 | 0,61                          | 1,00  | 0,32  | 0,57  | 0,54  | 0,58  | 0,13  | 0,69  | 0,41  | 0,51  | 0,56  | 0,53  | 0,47  | 0,57  | 0,54  | -0,01 | 0,65  | 0,56  | 0,63  | -0,34 | -0,33 | 0,73  | 0,59  | 0,67  | 0,73  | 0,55  |
| S   | -0,31            | 0,32                           | 0,20                           | 0,34             | 0,24  | 0,27             | 0,06              | -0,44 | 0,11                          | 0,32  | 1,00  | 0,36  | 0,29  | 0,32  | 0,19  | 0,32  | 0,36  | 0,34  | 0,32  | 0,19  | 0,15  | 0,21  | 0,28  | 0,13  | 0,26  | 0,30  | 0,32  | -0,28 | -0,29 | 0,28  | 0,31  | 0,14  | 0,39  | 0,32  |
| Co  | -0,98            | 0,98                           | 0,96                           | 0,97             | 0,97  | 0,91             | -0,32             | -0,86 | 0,91                          | 0,57  | 0,36  | 1,00  | 0,98  | 0,96  | 0,49  | 0,92  | 0,88  | 0,98  | 0,98  | 0,84  | 0,79  | 0,82  | 0,95  | 0,19  | 0,96  | 0,96  | 0,97  | -0,80 | -0,80 | 0,83  | 0,98  | 0,78  | 0,72  | 0,98  |
| Cs  | -0,99            | 0,99                           | 0,97                           | 0,98             | 0,99  | 0,91             | -0,27             | -0,85 | 0,93                          | 0,54  | 0,29  | 0,98  | 1,00  | 0,95  | 0,51  | 0,90  | 0,88  | 0,99  | 0,99  | 0,84  | 0,80  | 0,79  | 0,95  | 0,21  | 0,96  | 0,97  | 0,98  | -0,82 | -0,81 | 0,82  | 0,98  | 0,76  | 0,70  | 0,98  |
| Ba  | -0,97            | 0,97                           | 0,96                           | 0,97             | 0,96  | 0,90             | -0,25             | -0,79 | 0,92                          | 0,58  | 0,32  | 0,96  | 0,95  | 1,00  | 0,45  | 0,91  | 0,87  | 0,97  | 0,96  | 0,81  | 0,84  | 0,79  | 0,93  | 0,27  | 0,96  | 0,96  | -0,82 | -0,81 | 0,80  | 0,97  | 0,79  | 0,73  | 0,97  |       |
| Be  | -0,50            | 0,49                           | 0,48                           | 0,51             | 0,51  | 0,33             | 0,04              | -0,58 | 0,42                          | 0,13  | 0,19  | 0,49  | 0,51  | 0,45  | 1,00  | 0,37  | 0,46  | 0,51  | 0,48  | 0,43  | 0,21  | 0,33  | 0,49  | 0,21  | 0,47  | 0,47  | 0,46  | -0,48 | -0,49 | 0,24  | 0,48  | 0,30  | 0,16  | 0,49  |
| Nb  | -0,93            | 0,93                           | 0,90                           | 0,89             | 0,89  | 0,97             | -0,40             | -0,78 | 0,91                          | 0,69  | 0,32  | 0,92  | 0,90  | 0,91  | 0,37  | 1,00  | 0,80  | 0,91  | 0,94  | 0,89  | 0,80  | 0,84  | 0,93  | 0,05  | 0,93  | 0,90  | 0,93  | -0,62 | -0,61 | 0,93  | 0,94  | 0,90  | 0,74  | 0,93  |
| Ni  | -0,89            | 0,89                           | 0,86                           | 0,91             | 0,89  | 0,84             | -0,06             | -0,70 | 0,85                          | 0,41  | 0,36  | 0,88  | 0,88  | 0,87  | 0,46  | 0,80  | 1,00  | 0,90  | 0,89  | 0,77  | 0,76  | 0,77  | 0,87  | 0,09  | 0,86  | 0,88  | 0,87  | -0,69 | -0,69 | 0,74  | 0,89  | 0,68  | 0,66  | 0,89  |
| Rb  | -0,99            | 0,99                           | 0,97                           | 0,99             | 0,99  | 0,90             | -0,22             | -0,86 | 0,92                          | 0,51  | 0,34  | 0,98  | 0,99  | 0,97  | 0,51  | 0,91  | 0,90  | 1,00  | 0,99  | 0,84  | 0,81  | 0,80  | 0,96  | 0,22  | 0,96  | 0,98  | 0,98  | -0,83 | -0,83 | 0,80  | 0,99  | 0,76  | 0,69  | 0,99  |
| Sc  | -0,99            | 1,00                           | 0,98                           | 0,98             | 0,99  | 0,94             | -0,31             | -0,85 | 0,92                          | 0,56  | 0,32  | 0,98  | 0,99  | 0,96  | 0,48  | 0,94  | 0,89  | 0,99  | 1,00  | 0,86  | 0,82  | 0,83  | 0,96  | 0,18  | 0,97  | 0,97  | 0,98  | -0,80 | -0,79 | 0,86  | 0,99  | 0,81  | 0,72  | 0,99  |
| Sn  | -0,85            | 0,86                           | 0,84                           | 0,83             | 0,83  | 0,85             | -0,36             | -0,78 | 0,84                          | 0,53  | 0,19  | 0,84  | 0,84  | 0,81  | 0,43  | 0,89  | 0,77  | 0,84  | 0,86  | 1,00  | 0,67  | 0,71  | 0,86  | 0,00  | 0,86  | 0,82  | 0,84  | -0,64 | -0,64 | 0,78  | 0,87  | 0,75  | 0,58  | 0,87  |
| Sr  | -0,83            | 0,83                           | 0,83                           | 0,83             | 0,84  | 0,81             | -0,19             | -0,51 | 0,82                          | 0,47  | 0,15  | 0,79  | 0,80  | 0,84  | 0,21  | 0,80  | 0,76  | 0,81  | 0,82  | 0,67  | 1,00  | 0,69  | 0,78  | 0,15  | 0,84  | 0,83  | 0,85  | -0,65 | -0,64 | 0,75  | 0,84  | 0,72  | 0,73  | 0,81  |
| Ta  | -0,82            | 0,81                           | 0,80                           | 0,79             | 0,82  | 0,86             | -0,30             | -0,65 | 0,83                          | 0,57  | 0,21  | 0,82  | 0,79  | 0,79  | 0,33  | 0,84  | 0,77  | 0,80  | 0,83  | 0,71  | 0,69  | 1,00  | 0,83  | -0,09 | 0,81  | 0,80  | 0,80  | -0,53 | -0,51 | 0,81  | 0,83  | 0,82  | 0,60  | 0,81  |
| Th  | -0,95            | 0,96                           | 0,94                           | 0,94             | 0,95  | 0,92             | -0,30             | -0,82 | 0,92                          | 0,54  | 0,28  | 0,95  | 0,95  | 0,93  | 0,49  | 0,93  | 0,87  | 0,96  | 0,96  | 0,86  | 0,78  | 0,83  | 1,00  | 0,09  | 0,94  | 0,94  | 0,95  | -0,72 | -0,72 | 0,85  | 0,96  | 0,84  | 0,68  | 0,96  |
| Mb  | -0,22            | 0,21                           | 0,25                           | 0,24             | 0,19  | -0,03            | -0,05             | -0,26 | 0,14                          | -0,01 | 0,13  | 0,19  | 0,21  | 0,27  | 0,21  | 0,05  | 0,09  | 0,22  | 0,18  | 0,00  | 0,15  | -0,09 | 0,09  | 1,00  | 0,21  | 0,22  | 0,19  | -0,55 | -0,55 | -0,09 | 0,18  | -0,14 | 0,08  | 0,21  |
| Pb  | -0,99            | 0,98                           | 0,99                           | 0,96             | 0,97  | 0,92             | -0,32             | -0,82 | 0,95                          | 0,65  | 0,26  | 0,96  | 0,96  | 0,96  | 0,47  | 0,93  | 0,86  | 0,96  | 0,97  | 0,86  | 0,84  | 0,81  | 0,94  | 0,21  | 1,00  | 0,98  | 0,99  | -0,81 | -0,81 | 0,85  | 0,98  | 0,83  | 0,75  | 0,98  |
| Zn  | -0,98            | 0,98                           | 0,97                           | 0,98             | 0,97  | 0,89             | -0,22             | -0,83 | 0,93                          | 0,56  | 0,30  | 0,96  | 0,97  | 0,96  | 0,47  | 0,90  | 0,88  | 0,98  | 0,97  | 0,82  | 0,83  | 0,80  | 0,94  | 0,22  | 0,98  | 1,00  | 0,98  | -0,84 | -0,83 | 0,79  | 0,97  | 0,78  | 0,71  | 0,98  |
| Cu  | -0,99            | 0,99                           | 0,98                           | 0,98             | 0,98  | 0,93             | -0,27             | -0,81 | 0,94                          | 0,63  | 0,32  | 0,97  | 0,98  | 0,96  | 0,46  | 0,93  | 0,87  | 0,98  | 0,98  | 0,84  | 0,85  | 0,80  | 0,95  | 0,19  | 0,99  | 0,98  | 1,00  | -0,80 | -0,80 | 0,85  | 0,99  | 0,81  | 0,77  | 0,98  |
| Zr  | 0,83             | -0,83                          | -0,85                          | -0,85            | -0,82 | -0,58            | 0,20              | 0,76  | -0,73                         | -0,34 | -0,28 | -0,80 | -0,82 | -0,82 | -0,48 | -0,62 | -0,69 | -0,83 | -0,80 | -0,64 | -0,65 | -0,53 | -0,72 | -0,55 | -0,81 | -0,84 | -0,80 | 1,00  | 1,00  | -0,46 | -0,80 | -0,44 | -0,53 | -0,83 |
| Hf  | 0,82             | -0,82                          | -0,84                          | -0,85            | -0,81 | -0,57            | 0,18              | 0,76  | -0,72                         | -0,33 | -0,29 | -0,80 | -0,81 | -0,81 | -0,49 | -0,61 | -0,69 | -0,83 | -0,79 | -0,64 | -0,64 | -0,51 | -0,72 | -0,55 | -0,81 | -0,83 | -0,80 | 1,00  | 1,00  | -0,45 | -0,79 | -0,42 | -0,52 | -0,82 |
| Y   | -0,83            | 0,83                           | 0,82                           | 0,79             | 0,81  | 0,95             | -0,41             | -0,63 | 0,85                          | 0,73  | 0,28  | 0,83  | 0,82  | 0,80  | 0,24  | 0,93  | 0,74  | 0,80  | 0,86  | 0,78  | 0,75  | 0,81  | 0,85  | -0,09 | 0,85  | 0,79  | 0,85  | -0,46 | -0,45 | 1,00  | 0,86  | 0,90  | 0,77  | 0,82  |
| V   | -0,99            | 1,00                           | 0,98                           | 0,98             | 0,98  | 0,94             | -0,31             | -0,85 | 0,94                          | 0,59  | 0,31  | 0,98  | 0,98  | 0,97  | 0,48  | 0,94  | 0,89  | 0,99  | 0,99  | 0,87  | 0,84  | 0,83  | 0,96  | 0,18  | 0,98  | 0,97  | 0,99  | -0,80 | -0,79 | 0,86  | 1,00  | 0,82  | 0,73  | 0,99  |
| U   | -0,80            | 0,79                           | 0,80                           | 0,75             | 0,78  | 0,90             | -0,34             | -0,58 | 0,84                          | 0,67  | 0,14  | 0,78  | 0,76  | 0,79  | 0,30  | 0,90  | 0,68  | 0,76  | 0,81  | 0,75  | 0,72  | 0,82  | 0,84  | -0,14 | 0,83  | 0,78  | 0,81  | -0,44 | -0,42 | 0,90  | 0,82  | 1,00  | 0,68  | 0,78  |
| As  | -0,73            | 0,72                           | 0,72                           | 0,69             | 0,69  | 0,77             | -0,30             | -0,49 | 0,69                          | 0,73  | 0,39  | 0,72  | 0,70  | 0,73  | 0,16  | 0,74  | 0,66  | 0,69  | 0,72  | 0,58  | 0,73  | 0,60  | 0,68  | 0,08  | 0,75  | 0,71  | 0,77  | -0,53 | -0,52 | 0,77  | 0,73  | 0,68  | 1,00  | 0,71  |
| Ga  | -0,99            | 0,99                           | 0,97                           | 0,99             | 0,98  | 0,92             | -0,29             | -0,86 | 0,92                          | 0,55  | 0,32  | 0,98  | 0,98  | 0,97  | 0,49  | 0,93  | 0,89  | 0,99  | 0,99  | 0,87  | 0,81  | 0,81  | 0,96  | 0,21  | 0,98  | 0,98  | 0,98  | -0,83 | -0,82 | 0,82  | 0,99  | 0,78  | 0,71  | 1,00  |

## TABELA DE CORRELAÇÃO 2

| Correlations (TABELA MAIORES E TRACOS)              |                  |                                |                                |                  |       |                  |                   |       |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|------------------|-------------------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Marked correlations are significant at $p < ,05000$ |                  |                                |                                |                  |       |                  |                   |       |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| N=41 (Casewise deletion of missing data)            |                  |                                |                                |                  |       |                  |                   |       |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Variable  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | MgO   | TiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | CaO   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | C     | S     | La    | Ce    | Pr    | Nd    | Sm    | Eu    | Gd    | Tb    | Dy    | Ho    | Er    | Tm    | Yb    | Lu    |
| SiO <sub>2</sub>                                    | 1,00             | -1,00                          | -0,99                          | -0,99            | -0,99 | -0,92            | 0,27              | 0,84  | -0,94                         | -0,59 | -0,31 | -0,97 | -0,96 | -0,97 | -0,97 | -0,96 | -0,97 | -0,96 | -0,93 | -0,92 | -0,86 | -0,81 | -0,75 | -0,76 | -0,67 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                      | -1,00            | 1,00                           | 0,98                           | 0,99             | 0,99  | 0,92             | -0,28             | -0,85 | 0,93                          | 0,56  | 0,32  | 0,97  | 0,95  | 0,97  | 0,97  | 0,96  | 0,97  | 0,95  | 0,92  | 0,92  | 0,86  | 0,81  | 0,75  | 0,76  | 0,66  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                      | -0,99            | 0,98                           | 1,00                           | 0,97             | 0,98  | 0,90             | -0,32             | -0,81 | 0,96                          | 0,60  | 0,20  | 0,95  | 0,94  | 0,96  | 0,95  | 0,95  | 0,96  | 0,94  | 0,91  | 0,90  | 0,85  | 0,80  | 0,74  | 0,73  | 0,66  |
| K <sub>2</sub> O                                    | -0,99            | 0,99                           | 0,97                           | 1,00             | 0,99  | 0,89             | -0,19             | -0,83 | 0,92                          | 0,50  | 0,34  | 0,94  | 0,93  | 0,95  | 0,94  | 0,94  | 0,95  | 0,93  | 0,89  | 0,89  | 0,82  | 0,76  | 0,70  | 0,71  | 0,61  |
| MgO   | -0,99            | 0,99                           | 0,98                           | 0,99             | 1,00  | 0,90             | -0,22             | -0,81 | 0,93                          | 0,51  | 0,24  | 0,95  | 0,94  | 0,95  | 0,95  | 0,94  | 0,96  | 0,94  | 0,90  | 0,90  | 0,84  | 0,79  | 0,72  | 0,73  | 0,64  |
| TiO <sub>2</sub>                                    | -0,92            | 0,92                           | 0,90                           | 0,89             | 0,90  | 1,00             | -0,36             | -0,73 | 0,91                          | 0,68  | 0,27  | 0,96  | 0,95  | 0,96  | 0,96  | 0,96  | 0,95  | 0,97  | 0,98  | 0,98  | 0,96  | 0,95  | 0,91  | 0,92  | 0,87  |
| Na <sub>2</sub> O                                   | 0,27             | -0,28                          | -0,32                          | -0,19            | -0,22 | -0,36            | 1,00              | 0,41  | -0,25                         | -0,46 | 0,06  | -0,34 | -0,33 | -0,34 | -0,34 | -0,33 | -0,32 | -0,33 | -0,39 | -0,35 | -0,42 | -0,36 | -0,48 | -0,45 | -0,45 |
| CaO   | 0,84             | -0,85                          | -0,81                          | -0,83            | -0,81 | -0,73            | 0,41              | 1,00  | -0,69                         | -0,46 | -0,44 | -0,81 | -0,80 | -0,82 | -0,82 | -0,82 | -0,82 | -0,78 | -0,73 | -0,72 | -0,65 | -0,57 | -0,57 | -0,57 | -0,43 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                       | -0,94            | 0,93                           | 0,96                           | 0,92             | 0,93  | 0,91             | -0,25             | -0,69 | 1,00                          | 0,61  | 0,11  | 0,93  | 0,91  | 0,94  | 0,93  | 0,94  | 0,92  | 0,94  | 0,92  | 0,92  | 0,90  | 0,83  | 0,80  | 0,79  | 0,73  |
| C   | -0,59            | 0,56                           | 0,60                           | 0,50             | 0,51  | 0,68             | -0,46             | -0,46 | 0,61                          | 1,00  | 0,32  | 0,67  | 0,67  | 0,66  | 0,65  | 0,66  | 0,63  | 0,67  | 0,72  | 0,68  | 0,69  | 0,69  | 0,70  | 0,70  | 0,70  |
| S   | -0,31            | 0,32                           | 0,20                           | 0,34             | 0,24  | 0,27             | 0,06              | -0,44 | 0,11                          | 0,32  | 1,00  | 0,31  | 0,31  | 0,29  | 0,30  | 0,30  | 0,31  | 0,30  | 0,29  | 0,27  | 0,20  | 0,20  | 0,19  | 0,20  | 0,16  |
| La  | -0,97            | 0,97                           | 0,95                           | 0,94             | 0,95  | 0,96             | -0,34             | -0,81 | 0,93                          | 0,67  | 0,31  | 1,00  | 0,99  | 0,99  | 0,99  | 0,98  | 0,98  | 0,97  | 0,97  | 0,95  | 0,90  | 0,89  | 0,84  | 0,84  | 0,77  |
| Ce  | -0,96            | 0,95                           | 0,94                           | 0,93             | 0,94  | 0,95             | -0,33             | -0,80 | 0,91                          | 0,67  | 0,31  | 0,99  | 1,00  | 0,98  | 0,98  | 0,98  | 0,97  | 0,97  | 0,96  | 0,94  | 0,89  | 0,89  | 0,83  | 0,84  | 0,77  |
| Pr  | -0,97            | 0,97                           | 0,96                           | 0,95             | 0,95  | 0,96             | -0,34             | -0,82 | 0,94                          | 0,66  | 0,29  | 0,99  | 0,98  | 1,00  | 0,99  | 0,99  | 0,98  | 0,98  | 0,97  | 0,96  | 0,91  | 0,88  | 0,84  | 0,85  | 0,77  |
| Nd  | -0,97            | 0,97                           | 0,95                           | 0,94             | 0,95  | 0,96             | -0,34             | -0,82 | 0,93                          | 0,65  | 0,30  | 0,99  | 0,98  | 0,99  | 1,00  | 0,99  | 0,98  | 0,98  | 0,97  | 0,95  | 0,91  | 0,88  | 0,84  | 0,85  | 0,77  |
| Sm  | -0,96            | 0,96                           | 0,95                           | 0,94             | 0,94  | 0,96             | -0,33             | -0,82 | 0,94                          | 0,66  | 0,30  | 0,98  | 0,98  | 0,99  | 0,99  | 1,00  | 0,97  | 0,98  | 0,97  | 0,96  | 0,91  | 0,89  | 0,85  | 0,86  | 0,78  |
| Eu  | -0,97            | 0,97                           | 0,96                           | 0,95             | 0,96  | 0,95             | -0,32             | -0,82 | 0,92                          | 0,63  | 0,31  | 0,98  | 0,97  | 0,98  | 0,98  | 0,97  | 1,00  | 0,97  | 0,96  | 0,94  | 0,89  | 0,86  | 0,81  | 0,82  | 0,75  |
| Gd  | -0,96            | 0,95                           | 0,94                           | 0,93             | 0,94  | 0,97             | -0,33             | -0,78 | 0,94                          | 0,67  | 0,30  | 0,97  | 0,97  | 0,98  | 0,98  | 0,98  | 0,97  | 1,00  | 0,98  | 0,98  | 0,94  | 0,91  | 0,88  | 0,88  | 0,81  |
| Tb  | -0,93            | 0,92                           | 0,91                           | 0,89             | 0,90  | 0,98             | -0,39             | -0,73 | 0,92                          | 0,72  | 0,29  | 0,97  | 0,96  | 0,97  | 0,97  | 0,97  | 0,96  | 0,98  | 1,00  | 0,98  | 0,96  | 0,94  | 0,91  | 0,92  | 0,87  |
| Dy  | -0,92            | 0,92                           | 0,90                           | 0,89             | 0,90  | 0,98             | -0,35             | -0,72 | 0,92                          | 0,68  | 0,27  | 0,95  | 0,94  | 0,96  | 0,95  | 0,96  | 0,94  | 0,98  | 0,98  | 1,00  | 0,96  | 0,94  | 0,91  | 0,92  | 0,86  |
| Ho  | -0,86            | 0,86                           | 0,85                           | 0,82             | 0,84  | 0,96             | -0,42             | -0,65 | 0,90                          | 0,69  | 0,20  | 0,90  | 0,89  | 0,91  | 0,91  | 0,91  | 0,89  | 0,94  | 0,96  | 0,96  | 1,00  | 0,95  | 0,94  | 0,94  | 0,91  |
| Er  | -0,81            | 0,81                           | 0,80                           | 0,76             | 0,79  | 0,95             | -0,36             | -0,57 | 0,83                          | 0,69  | 0,20  | 0,89  | 0,89  | 0,88  | 0,88  | 0,89  | 0,86  | 0,91  | 0,94  | 0,94  | 0,95  | 1,00  | 0,94  | 0,95  | 0,93  |
| Tm  | -0,75            | 0,75                           | 0,74                           | 0,70             | 0,72  | 0,91             | -0,48             | -0,57 | 0,80                          | 0,70  | 0,19  | 0,84  | 0,83  | 0,84  | 0,84  | 0,85  | 0,81  | 0,88  | 0,91  | 0,91  | 0,94  | 0,94  | 1,00  | 0,95  | 0,93  |
| Yb  | -0,76            | 0,76                           | 0,73                           | 0,71             | 0,73  | 0,92             | -0,45             | -0,57 | 0,79                          | 0,70  | 0,20  | 0,84  | 0,84  | 0,85  | 0,85  | 0,86  | 0,82  | 0,88  | 0,92  | 0,92  | 0,94  | 0,95  | 0,95  | 1,00  | 0,93  |
| Lu  | -0,67            | 0,66                           | 0,66                           | 0,61             | 0,64  | 0,87             | -0,45             | -0,43 | 0,73                          | 0,70  | 0,16  | 0,77  | 0,77  | 0,77  | 0,77  | 0,78  | 0,75  | 0,81  | 0,87  | 0,86  | 0,91  | 0,93  | 0,93  | 0,93  | 1,00  |