



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 552**

**MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE  
FUNDO DO RIO-LAGO TAPAJÓS-PA**

**Dissertação apresentada por:**

**PRISCILA VALÉRIA TAVARES GOZZI**

**Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA)**

---

**BELÉM  
2019**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

G725m Gozzi, Priscila Valéria Tavares  
Mineralogia e geoquímica dos sedimentos de  
fundo do rio-lago Tapajós-PA / Priscila Valéria Tavares Gozzi. —  
2019.  
103 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em  
Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade  
Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Ambiente lacustre. 2. Caulinita. 3. Esmectita. 4.  
Gibbsita. 5. Minerais pesados. . I. Título.

CDD 551.354098115

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE  
FUNDO DO RIO-LAGO TAPAJÓS-PA**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:  
PRISCILA VALÉRIA TAVARES GOZZI**

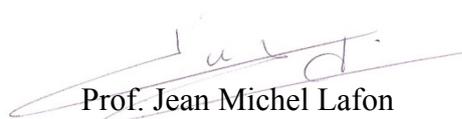
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA, linha MINERALOGIA E GEOQUÍMICA**

**Data de Aprovação: 15 / 05 / 2019**

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Marcondes Lima da Costa  
Orientador – UFPA

  
Prof.ª José Francisco B. Reis da Silva  
Membro – MPEG

  
Prof. Jean Michel Lafon  
Membro - UFPA

Ao meu avô,  
Luiz Gonzaga Tavares.  
E a Ela,  
Prof.<sup>a</sup>, Dr.<sup>a</sup> Odete Silveira, sempre! (*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Sem nenhuma dúvida, Deus sempre esteve junto comigo, dia após dia, me dando forças para não desistir, mesmo quando tudo levava para o contrário. Mas confesso que, eu, até hoje, sempre fui meu maior inimigo, não acreditando em mim, diante de tudo que aconteceu até aqui.

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) UFPA agradeço pela estrutura e toda competência das secretárias Cleida Freitas e Joanicy.

A única e inesquecível professora Dr<sup>a</sup>, Odete Silveira (*in memoriam*), pois foi ela que escolheu o meu orientador (Prof. Marcondes); a ela devo tudo que sou, mas infelizmente, ela se foi antes de me ensinar ser alguém melhor. Foi minha professora, minha orientadora, minha amiga, minha equipe de trabalho, minha âncora, minha psicóloga, minha conselheira, minha mãe, minha e de toda sua equipe, da qual sempre fomos uma família, obrigada por ter nos respeitado sempre, e nos ensinado o que é respeito, a ver num problema a oportunidade de aprender e fazer diferente, sinto tua falta, professora.

Ao meu orientador, professor Dr. Marcondes Lima da Costa, tenho que lhe agradecer a partir do dia que me deu a carta de aceite de orientação; do dia que conversamos sobre nosso plano junto ao professor Dr. Pedro Walfir que nos ofereceu as amostras de seu grande projeto, obrigada, professor Pedro; por cada segundo do seu tempo cedido para discutir minhas dificuldades; por cada situação difícil que temos passado nesse processo; por sua honestidade; sua sabedoria; e agradeço também pelas inúmeras vezes em que foi bem duro comigo, foi sim um grande ensinamento. Muito obrigada, professor Marcondes. Ao senhor, toda minha gratidão e respeito.

Aos professores, Dr. José Berredo, Msc. Amilcar Mendes, do Museu Paraense Emilio Goeldi, em especial, por imensurável ajuda, discussões, conselhos, pela grande força emocional e disponibilidade em sempre ceder o tempo de vocês em todas as horas que precisei, mostrando meus erros, e sendo firmes comigo, meu muito obrigada, por serem tão excepcionais, e espero sempre tê-los por perto. E claro, junto a eles, Dr. Alessandro Bergamo,

da Universidade de Viçosa, e Dr. Venerando Amaro, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, sempre muito gentis e incentivadores, minha eterna gratidão a vocês.

Agradeço a todos do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada - GMGA, por compartilharem suas idéias, conhecimento e seus laboratórios nesses últimos anos. Daiveson Abreu, Leonardo Negrão, Pablio Santos, Rose Norat, Rayara Silva, José Diogo, Alan Queiroz, Heliana Pantoja, Clovis Mauriti e Igor Rocha por toda ajuda, pelos momentos de descontração, os de tensão, pelas conversas, os almoços e tudo que nós sabemos o quão importante foram e são. Obrigada pessoal!

Agradeço imensamente ao Laboratório de Polimento do IG-UFGA, aos técnicos Joelma e Bruno, pelo cuidado e agilidade com a confecção de todas as lâminas de minerais pesados e pelo incentivo. Ao Laboratório de Microanálises do IG-UFGA, Gisele, Bruno e Ana Paula, que disponibilizaram tempo e atenção com as análises de MEV/EDS. Vocês merecem todo reconhecimento pelo excelente trabalho que fazem, e pela gentileza que tratam a todos que os procuram. Ao Laboratório de Sedimentologia, do IG-UFGA, por disponibilizar o espaço. Ao Laboratório de Análises Química e ao Sr. Natalino, um técnico muito prestativo, claro, respeitoso, afim de contribuir com todos da melhor forma. Ao LCM do IG-UFGA que realizou as análises de argilominerais, e ao seu técnico Aldemir, pela atenção, gentileza e muito prestativo. Ao CCTE do MPEG por todo auxílio e disponibilidade em uma das etapas mais trabalhosas deste trabalho para mim, que foi a separação de minerais pesados, realizada no Laboratório de Solos, com supervisão do técnico Sr. Paulo, sempre muito cuidadoso. E claro ao Laboratório da ALS, que realizou as análises químicas totais, e foram muito pacientes no aguardo do pagamento. Muito obrigada, vocês foram muito importantes para o andamento deste trabalho.

Para a realização das análises químicas deste trabalho, agradeço imensamente ao Dr. Nils Asp, que se colocou à disposição em ajudar no que fosse preciso, e foi através Dele que a maior parte do financiamento saiu além da ajuda do Dr. Pedro Walfir, e imensuravelmente de meus grandes amigos e colegas Pablio Santos, Leonardo Negrão, Erlane Cunha, Ailton Brito, Rayara Silva, Rose Norat, José Diogo, Glayce Jholy, Marly, Thais Sanjad, Darilene Porfirio e Christiene Matos, sem vocês eu não teria conseguido, e ao Paulo Freitas, Thiago Souza, e Alan Albuquerque, sempre muito solícitos, através de vocês esse sonho vem chegando mais

perto de ser realizado. Muito obrigada.

Ao meu amigo o qual já moramos juntos há alguns anos, Erlane, muito obrigada por cada dia vivido, por todas as conversas sobre todos os assuntos possíveis, sempre foi bom simplesmente por você estar ali. Obrigada por cuidar de mim, por ser minha companhia de todas as horas, boas e ruins, por me fazer esquecer meus problemas, por ouvir meus pesares da dissertação e me ajudar com ela, entre outros. Claro que por tua causa, vieram todo o seu grupo de amigos (biólogos), nossos amigos, Dr. Gil Nicácio, Diego Pereira, Fernando Carvalho, Alana Gutierrez, Isana Amorim, muito obrigada. Obrigada, Dr. Erlane Cunha.

Aos senhores, que sempre foram meu porto, meu ponto de partida e de chegada, que tem vivido mais uma etapa junto comigo, que sempre foram tão otimistas, proferindo que tudo ia dar certo, fazendo o que podem por mim, Gustavo Miranda e Andrey Ferreira, eu lhes devo pelo menos duas vidas de gratidão. Vocês não estão disponíveis o tempo todo, eu sei, mas é em vocês que sempre busquei o meu ponto de luz, e foram vocês que me encorajaram a chegar até aqui. Foi com vocês que dividi toda minha angustia, meu medo, insegurança, minha desilusão. Me perdoem por sobrecarregá-los. E obrigada por serem a minha força. Amo-os infinitamente, e não quero imaginar como tudo seria sem vocês, pois simplesmente, não seria. Obrigada por estarem ao meu lado, vocês são o presente que a Odete e Deus me deram. Desejo sucesso a vocês. Muitíssimo obrigada.

Ao meu Avô, Luiz Gonzaga Tavares, o grande amor de minha vida, que com seus 75 anos continua forte e batalhador, meu exemplo de sabedoria, meu tudo. A minha mãe, Dona Claudia, que me deu o suficiente para seguir. Ao meu irmão, Rodrigo, que me pede conselhos, que ouve meus pesares e que trouxe o meu ursinho, meu Falcão. E ao recém-chegado, meu pequeno Tico. Amo vocês, e muito obrigada, principalmente pela paciente paciência.

Claro que há muitas outras pessoas por traz de tanto trabalho. Familiares, amigos, professores, colegas, funcionários, que com uma palavra fez um dia ou outro fazer toda diferença, que com um sorriso ou um abraço deram sua contribuição que me impulsionou até aqui.

Quanto mais um homem se aproxima de suas metas,  
tanto mais crescem as dificuldades,  
(JOHANN GOETHE)

As nossas limitações não determinam os nossos limites,  
(MAFALDA R.)

## RESUMO

Com a subida do nível do mar a partir do Holoceno médio a zona de desembocadura do rio Tapajós passou por mudanças na distribuição da carga sedimentar, atualmente com baixa carga em suspensão, e principalmente desaceleração do fluxo devido a barreira física criada pela diferença de densidade da água com a do rio Amazonas, afogando a foz do rio Tapajós, o que levou ao estabelecimento de condições características de lago. Para avaliar essas novas condições, no baixo curso do rio Tapajós (Lago Tapajós), entre os Municípios de Aveiro a Santarém, foram coletadas e analisadas amostras de sedimentos de interface água-sedimento e dos sedimentos de fundos nos primeiros 90 cm (perfis) de profundidade. Essas amostras foram analisadas quanto às suas características sedimentológicas, mineralógicas e geoquímicas. Os resultados demonstram que as amostras de interface são predominantemente arenosas e os perfis são siltosos, constituídos por quartzo, caulinita, illita/muscovita, além de goethita, gibbsita, anatásio e esmectitas. Esses minerais em sua maioria são constituintes dos solos dos terrenos que circundam o lago. A presença de esmectita não se restringe o rio Amazonas como única fonte, podendo vir de rochas sedimentares do entorno da bacia e de rochas parcialmente intemperizadas na porção a montante do lago. A assembleia de minerais pesados formada por minerais predominantemente ultraestáveis, apontam reciclagem e tendo como fonte primária de rochas graníticas e metamórficas. A distribuição preferencial de sedimentos arenosos nas margens e silticos e argilosos nas zonas centrais e a variação cíclica da composição química ao longo do perfil, preferencialmente na porção sul do lago, reforça a ambiência lacustre pelos menos nos últimos 90 cm de profundidade.

Palavras-chave: Ambiente lacustre. Caulinita. Esmectita. Gibbsita. Minerais pesados.

## **ABSTRACT**

The Tapajós River experienced changes in its sedimentary load after the sea level in the Middle Holocene. The river's mouth had its sedimentary load altered due to the difference of the density of its waters in relation to those of the Amazonas River, which created a physical barrier and drowned the mouth of the Tapajós River between the cities of Aveiro and Santarém. Thus, this part of the Tapajós River is nowadays better described as Lake Tapajós. Aiming the characterization of the Lake Tapajós, as well as the geological source of its sediments, samples from the water-sediment interface and from boreholes (90 cm) were collected and submitted to sedimentological, mineralogical and geochemical studies. The results show that the samples of the water-sediment interface are predominantly sandy, whereas the boreholes profiles are silty and composed by quartz, kaolinite, illite, muscovite, with goethite, gibbsite, anatase and smectite, showing a common mineralogical composition found in the terrains surrounding the lake. The occurrence of smectites suggests they are from the following different sources: Amazonas River, rocks of the sedimentary basin and partially weathered rocks from the Lake Tapajós upstream. The heavy mineral assemblage, predominantly composed by ultra-stable minerals, indicates recycling of these minerals, originally from primary sources as igneous and metamorphic rocks. The preferential distribution of sandy sediments in the margins and silty and clay in the central part of the lake, as well as the cyclical variation in the chemical composition along the borehole profiles, mainly in the southern portion of the lake, reinforces the lacustrine environment at least in the last 90 cm depth.

**Keywords:** Lacustrine environment. Kaolinite. Smectite. Gibbsite. Heavy minerals.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Localização do Lago Tapajós e dos pontos de sondagem (perfis) e de dragagem de sedimentos na interface água-sedimento de fundo.....	4
Figura 2 -	Mapa simplificado de batimetria do lago Tapajós sobrepostas a imagem SRTM dos terrenos em suas margens, e perfis transversais no ponto de amostragem. Em ambas margens se observam os planaltos com argissolos e latossolos.....	6
Figura 3 -	Principais Domínios morfoestruturais drenados pela bacia hidrográfica do Tapajós segundo Araújo <i>et al.</i> 2015).....	7
Figura 4-	Geologia da área de abrangência do Lago Tapajós. Fonte: CPRM (2004).....	9
Figura 5 -	A) Amostrador tipo <i>Kastem Core</i> ; A') perfil coletado, medido e subamostrado a cada 2 cm; A'') subamostras do perfil após secas. B) Amostrador tipo <i>Shipeck</i> ; B' amostra de interface água-sedimento; B'') amostras de interface após secas.....	10
Figura 6 -	Exemplos dos procedimentos realizados: A) demonstração dos pacotes de junção de um dos perfis para extração de minerais pesados; B) peneiramento para extração das frações de 0,125 e 0,063 mm; C) limpeza dos grãos com HCl em ultrassom por 10 min.; D) extração de minerais pesados por densidade com uso de bromofórmio.....	12
Figura 7 -	A) Mapa com localização das amostras de interface água-sedimento e respectivas seções batimétricas esquemáticas com a profundidade de cada amostra; B) diagrama de classificação granulométrica segundo Shepard (1954). .....	15
Figura 8 -	A) perfil batimétrico dos pontos amostrais; B) fotografias dos Perfis (cedida pelo professor Dr, Charles Nittrouer, Universidade de Washington) e intervalos analisados por granulometria a laser (2cm); C) diagrama ternário dos Perfis, segundo a classificação de Shepard (1954).....	17

- Figura 9 - Difractogramas das amostras de interface água-sedimento entre Aveiro (sul) – Santarém (norte). Quartzo (Qtz), caulinita (Kln), illita e muscovita (Il/Ms), e anatásio (Ant)..... 18
- Figura 10 - Composição mineralógica dos sedimentos de até 70 cm de profundidade, obtida por DRX (perfil TP 103, nas proximidades de Aveiro). Quartzo (Qtz), caulinita (Kln), muscovita (Ms), anatásio (Ant) e goethita (Gt)..... 19
- Figura 11 - Composição mineralógica dos sedimentos de até 70 cm de profundidade, obtida por DRX (Perfil TP 111 porção central do lago). quartzo (Qtz), caulinita (Kln), muscovita (Ms), anatásio (Ant)..... 19
- Figura 12 - Composição mineralógica dos sedimentos de até 70 cm de profundidade, obtida por DRX (perfil TP 118 nas proximidades de Santarém, porção norte). Quartzo (Qtz), caulinita (Kln), muscovita (Ms), anatásio (Ant), goethita (Gt), gibbsita (Gb)..... 20
- Figura 13 - Diagramas de raios X da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), illita/muscovita (Il/Ms) das amostras de interface água-sedimento, TAP 10 (A) e TAP 31 (B) e TAP 36 (C) localizadas na porção norte do lago..... 21

Figura 14 -	Difratogramas de raios X da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), muscovita (Ms), illita (Ill), esmectita (Sme) das amostras de interface água-sedimento, TAP 56 (D) porção central, TAP 67 (E) e TAP 80 (F) porção sul.....	22
Figura 15 -	Difratogramas de raios X da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), muscovita (Ms), illita (Ill), esmectita (Sme) das amostras de interface água-sedimento, TAP 101 (G) e TAP 87 (H) porção sul.....	23
Figura 16 -	Difratogramas de raios x da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), muscovita (Ms), esmectita (Sme) das amostras de profundidade TP 103 (A), (B) e (C) perfil sul.....	25
Figura 17 -	Difratogramas de raios x da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), muscovita (Ms) das amostras de profundidade TP 111 (A), (B) e (C) perfil central.....	26
Figura 18 -	Difratogramas de raios x da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), muscovita (Ms) das amostras de profundidade TP 118 (A), (B) e (C) perfil norte.....	27
Figura 19 -	Distribuição percentual de minerais pesados nas amostras de interface água-sedimentos e do perfil TP 103.....	29
Figura 20 -	Alíquota da assembleia de minerais pesados das amostras de interface água-sedimento. A) Zircão; B) Turmalina; C) Cianita; D) Rutilo.....	32
Figura 21 -	Fotomicrografias dos minerais pesados constituintes do perfil TP103 nos intervalos de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60cm.....	32

Figura 22 -	Fotomicrografias de minerais pesados (zircão) identificados no perfil TP118.....	33
Figura 23 -	Distribuição das concentrações química ao longo da profundidade do Perfil TP 103, A) SiO <sub>2</sub> , PF e Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; B) TiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, K <sub>2</sub> O, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , C, S.....	50
Figura 24 -	Distribuição das concentrações química ao longo da profundidade do Perfil TP 111, A) SiO <sub>2</sub> , PF e Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; B) TiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, K <sub>2</sub> O, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , C, S.....	51
Figura 25 -	Distribuição das concentrações química ao longo da profundidade do Perfil TP 118, A) SiO <sub>2</sub> , PF e Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; B) TiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, K <sub>2</sub> O, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , C, S.....	52
Figura 26 -	Normalização dos elementos maiores das amostras de interface água-sedimento(A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo NASC – <i>North American Shale Composite</i> (Gromet <i>et al.</i> 1984).....	54
Figura 27 -	Normalização dos elementos traço das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo NASC – <i>North American Shale Composite</i> (Gromet <i>et al.</i> 1984).....	55
Figura 28 -	Normalização dos elementos traço das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo NASC – <i>North American Shale Composite</i> (Gromet <i>et al.</i> 1984).....	56

Figura 29 -	Normalização dos elementos traço das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo PAAS – <i>Post Archean Average Shale</i> (Taylor & McLennan 1981).....	57
Figura 30 -	Normalização dos elementos traço das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo PAAS – <i>Post Archean Average Shale</i> (Taylor & McLennan 1981).....	58
Figura 31 -	Normalização dos elementos terras raras das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo PAAS – <i>Post Archean Average Shale</i> (Taylor & McLennan 1981).....	59
Figura 32 -	Normalização dos elementos maiores das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo UCC – <i>Upper Continental Crust</i> (Rudnick & Gao 2003).....	60
Figura 33 -	Normalização dos elementos traço das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo UCC – <i>Upper Continental Crust</i> (Rudnick & Gao 2003).....	61
Figura 34 -	Normalização dos elementos terras raras das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo UCC – <i>Upper Continental Crust</i> (Rudnick & Gao 2003).....	62
Figura 35 -	Normalização dos elementos terras raras das amostras de interface água-sedimento, segundo os condritos (Wedepohl 1995).....	63

Figura 36 -	Normalização dos elementos terras raras das amostras dos perfis TP 103 (amarelo), TP 111 (azul) e TP 118 (laranja) segundo os condritos (Wedepohl 1995).....	64
Figura 37 -	Integração de dados granulométricos e mineralógicos dos dados do Lago Tapajós e a distância de cada amostragem do rio Amazonas, das amostras de interface (●) e perfis (■), Qtz (quartzo), Kln, (caulinita), Ms (muscovita), Il (illita), Ant (anatásio), Gt (goethita) Gbs (gibbsita) e Sme (esmectita).....	67
Figura 38 -	Caracterização litológica dos zircões estudados de interface água-sedimento do Lago Tapajós (TAP 10; TAP 31; TAP 36; e TAP 67) com base nos diagramas Th/U versus U conforme os diagramas de Belousova <i>et al.</i> (2002), Duddy & Kelly (1999) e Heaman <i>et al.</i> (1990).....	69
Figura 39 -	Caracterização litológica dos zircões estudados do Perfil TP 111, com base nos diagramas Th/U versus U conforme os diagramas de Belousova <i>et al.</i> (2002), Duddy & Kelly (1999) e Heaman <i>et al.</i> (1990).....	70
Figura 40 -	Diagramas ternários para as amostras dos perfis e de interface água-sedimento: A) SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . B) MgO, CaO, K <sub>2</sub> O. C) PF, COT (carbono orgânico total), Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . D) ΣETR, Zr, TiO <sub>2</sub> .....	71
Figura 41 -	Modelo evolutivo do rio-lago Tapajós. A) ambiente fluvial, antes da subida do nível do mar. B) transição para ambiente lacustre, de acordo com os dados deste trabalho, corroborados com os dados de Irion (1983, 1984, 1989), Irion <i>et al.</i> (2006, 2010).....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classificação e percentual granulométrico e constituinte mineralógico do material interface água-sedimento. Quartzo (Qtz), caulinita (Kln), illita e muscovita (Il/Ms), anatásio (Ant).....	18
Tabela 2 -	Média granulometria e composição mineralógica dos perfis. Quartzo (Qtz), caulinita (Kln), muscovita (Ms), anatásio (Ant), goethita (Gt), gibbsita (Gb).....	20
Tabela 3 -	Concentrações químicas (MEV/EDS) em grãos de zircão da interface água-sedimento por EDS.....	34
Tabela 4 -	Composição química total dos sedimentos de interface água-sedimento. As amostras estão dispostas no sentido Santarém-Aveiro, ou seja, de norte a sul. NASC – <i>North American Shale Composite</i> (Gromet <i>et al.</i> 1984), PAAS – <i>Post Archean Average Shale</i> (Taylor & McLennan 1981), UCC – <i>Upper Continental Crust</i> (Rudnick & Gao 2003).....	36
Tabela 5-	Composição química total do perfil TP 103, ao sul do lago Tapajós. Baixa sílica (1); alta sílica (2).....	41
Tabela 6 -	Composição química total do perfil TP 111 na região central do lago Tapajós.....	44
Tabela 7 -	Composição química total do perfil TP 118, na região norte do lago Tapajós. Média Baixa sílica (1); alta sílica (2).....	47
Tabela 8 -	Estimativa da idade de perfis de acordo com taxa de acumulação de sedimentos de Fricke <i>et al.</i> (2017) <sup>1</sup> e Irion <i>et al.</i> (2006) <sup>2</sup> .....	73

## SUMÁRIO

	<b>DEDICATÓRIA.....</b>	<b>iv</b>
	<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>v</b>
	<b>EPÍGRAFE.....</b>	<b>viii</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
	<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>xi</b>
	<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xvii</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3</b>	<b>LOCALIZAÇÃO E COMPONENTES FISIOGRÁFICOS.....</b>	<b>4</b>
3.1	GEOLOGIA DA ÁREA DRENADA PELA BACIA DO TAPAJÓS.....	6
<b>3.1.1</b>	<b>Bacia do Amazonas.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Formação Alter do Chão.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
4.1	AMOSTRAGEM.....	10
4.2	SEPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	11
4.3	ANÁLISES MINERALÓGICAS.....	11
4.4	EXTRAÇÃO DE MINERAIS PESADOS.....	12
4.5	DETERMINAÇÃO DE MINERAIS PESADOS.....	13
4.6	ANÁLISES QUÍMICAS.....	13
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
5.1	CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS.....	14
<b>5.1.1</b>	<b>Interface Água-Sedimento.....</b>	<b>14</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Perfis.....</b>	<b>16</b>
5.2	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICOS.....	18
<b>5.2.1</b>	<b>Interface Água-Sedimento.....</b>	<b>18</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Perfis.....</b>	<b>19</b>
5.3	ARGILOMINERAIS.....	21

<b>5.3.1</b>	<b>Interface Água-Sedimento.....</b>	<b>21</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Perfis.....</b>	<b>25</b>
5.4	MINERAIS PESADOS DE INTERFACE ÁGUA-SEDIMENTOS E DOS PERFIS TP 103 E 118.....	29
<b>5.4.1</b>	<b>Distribuição.....</b>	<b>29</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Descrição dos minerais pesados de interface água-sedimento.....</b>	<b>30</b>
5.4.2.1	Zircão.....	30
5.4.2.2	Turmalina.....	31
5.4.2.3	Cianita.....	31
5.4.2.4	Rutilo.....	31
5.5	QUÍMICA EDS DOS GRÃOS DE ZIRCÕES.....	34
<b>6</b>	<b>COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....</b>	<b>36</b>
6.1	DOS SEDIMENTOS DE INTERFACE.....	36
6.2	DOS SEDIMENTOS DE PERFIS.....	39
<b>7</b>	<b>DISCUSSÕES.....</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica amazônica é uma das maiores do mundo, pois, além de comportar um dos maiores rios, detém alta carga sedimentar (Nittrouer *et al.* 1995, Dunne *et al.* 1998, Latrubesse 2008, Milliman & Farnsworth 2011). Esta bacia tem como um de seus principais afluentes o rio Tapajós, localizado em sua margem direita, se estendendo por 700 km, desde a fronteira do Pará com o Mato Grosso (nascente), até a cidade de Santarém, onde ocorre sua confluência com o rio Amazonas, com vazão média de 13.500 m<sup>3</sup>/s (Latrubesse *et al.* 2005, Milliman & Farnsworth 2011). Além da baixa vazão, pesquisas recentes demonstram que o fluxo hídrico na foz do rio Tapajós está, em grande parte, bloqueado por barras do rio Amazonas (Irion 1984, Sioli 1984, Irion *et al.* 2006, 2010, Freitas *et al.* 2017, Fricke *et al.* 2017). Por este motivo, o baixo rio Tapajós tem sido tratado não mais como um rio, e sim como um lago.

O Tapajós, na classificação de Sioli (1984), ainda era tratado como um rio de águas claras, devido à sua baixa carga sedimentar em suspensão e, ao ser barrado na confluência com o rio Amazonas, se transforma gradualmente em um rio afogado, ou lago, como muitos outros corpos de água que também desaguam neste rio (Irion 1984, Junk 1982, Latrubesse *et al.* 2005, Irion *et al.* 2006, 2010, Freitas *et al.* 2017). Isto ocorre devido à já citada elevada carga sedimentar do Amazonas e à elevação do nível do mar a partir do Holoceno Médio (Martin *et al.* 1993, Sioli 1984, IPCC 2001, Irion *et al.* 2006, 2010, Melo & Marengo 2008, Fricke *et al.* 2017). O fluxo de baixa viscosidade é resultado da baixa concentração de material em suspensão existente na coluna de água. O resultado desse comportamento é uma seleção, de caráter granulométrico e morfométrico, ao longo dos sistemas lacustres e fluviais, como exemplo estudado por Aprile *et al.* (2005) no lago Tupé e no rio Negro. Junk (1982) acredita que o processo de preenchimento ainda não foi finalizado na foz do Lago do Tapajós (entre outros rios amazônicos), devido à desembocadura ser muito larga e profunda com áreas marcadas por correntes fracas.

Os estudos mais recentes mostram que o lago Tapajós apresenta no seu leito em torno de 40 m de sedimentos lamosos holocênicos (Irion *et al.* 2006, 2010). Estudos de geoquímica isotópica (Pb, Sr, Nd) de sedimentos de interface água-sedimento, indicaram contribuição da carga inorgânica do rio Amazonas, se estendendo até 40 km adentro do lago Tapajós (Medeiros Filho *et al.* 2016). Análises por <sup>210</sup>Pb permitiram determinar a taxa de

sedimentação em 0,2 a 1,9 cm/ano, além de análises mineralógicas e medições físicas, também sugeriram a influência do rio Amazonas no lago Tapajós (Fricke *et al.* 2017). Também foi demonstrada a influência das marés até 320 km adentro do rio Tapajós, classificando-o como *Tidal Rivers*. (Freitas *et al.* 2017). Fricke *et al.* (2017) ressaltam que a sazonalidade do rio Amazonas barra a descarga do rio Tapajós, diminuindo a intensidade da corrente, sem inversão de corrente. Porém, constatou-se carga sedimentar do rio Amazonas depositada até cerca de 30 km no interior do lago Tapajós (Irion 1984, Irion *et al.* 2006, Irion *et al.* 2010, Medeiros Filho *et al.* 2016).

Os estudos de sedimentos podem ser importantes ferramentas para identificar a proveniência e as transformações geológicas de ambientes fluviais e lacustres quaternários (Costa *et al.* 2005, Costa *et al.* 2007, Esteves 1998, Pinheiro & Sigolo 2006). No caso da bacia amazônica, as primeiras investigações indicam que as principais fontes estariam na cordilheira Andina (Gibbs 1967, Sioli 1968, Filizola & Guyot 2004, Guyot *et al.* 1994). No entanto, estes estudos se concentraram no seu alto curso, em detrimento ao seu médio e baixo curso, onde se localiza o lago Tapajós.

O baixo rio Tapajós, no trecho entre as cidades de Aveiro e Santarém, drena uma área de baixo relevo, com planaltos da ordem de 180 m de altitude, (Figura 2), com domínio de solos espessos e argilosos, tipo latossolos e argissolos (Campos *et al.* 2011), com cobertura vegetal de savana a floresta. Neste trecho, como mencionado, apresenta carga em suspensão muito baixa, ao contrário do rio Amazonas, fazendo com que suas águas sejam praticamente límpidas e ligeiramente transparentes. A nova característica, lacustre, atribuída ao Tapajós suscita questionamentos quanto à proveniência de seus sedimentos de fundo. Eles seriam reflexos da antiga dinâmica fluvial ou já de sua nova condição de ambiente lacustre?

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O principal objetivo desta pesquisa é definir a proveniência dos sedimentos e caracterizar o lago Tapajós a partir da composição mineralógica, química e de sua assembleia de minerais pesados dos sedimentos que se estendem da interface água-sedimento e perfis de até 90 cm de profundidade.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Como objetivo específico pretende-se:

Determinar as características granulométricas visando identificar as condições deposicionais;

Caracterizar a composição mineralógica total e dos minerais pesados, enfatizando a morfologia e a química mineral do zircão, para inferir as prováveis áreas-fonte dos sedimentos;

Determinar a composição química total, visando estabelecer sua conexão com a mineralogia e caracterizar o ambiente.

### 3 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIOGRAFICOS

O trecho investigado do Lago Tapajós se situa entre as cidades de Aveiro e Santarém (Baixo Tapajós). Sua extensão maior, norte-sul, é de 144 km e a área drenada pelos rios que alimentam o lago é de 489,000 km<sup>2</sup> (Irion *et al.* 2006), conforme a figura 1.

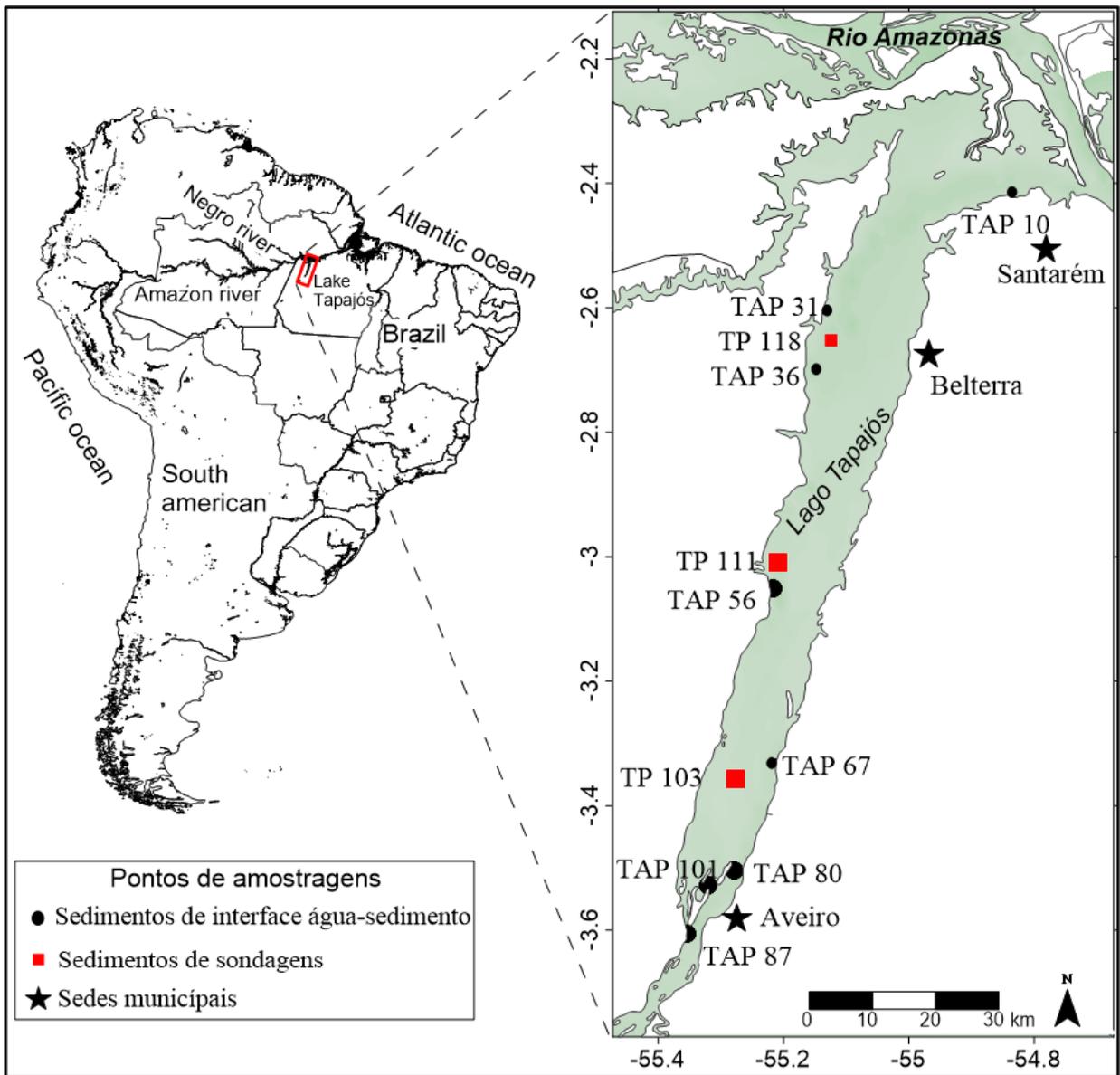


Figura 1 - Localização do Lago Tapajós e dos pontos de sondagem (perfis) e de dragagem de sedimentos na interface água-sedimento de fundo.

O lago e sua região de influência se encontram sob tipos climáticos tropicais chuvosos (Afi, Ami e Awi) na classificação Köppen & Geiger (1928). A temperatura média anual é de

25,6 °C com umidade relativa acima de 80% em quase todos os meses do ano (EMBRAPA 2006). Em função das variações sazonais amazônicas, nos períodos mais secos ocorre uma redução considerável do nível d'água do lago Tapajós, quando são expostos diversos bancos e barras arenosas.

O lago Tapajós, que se constitui logo abaixo de Aveiro, quando o rio com então 2 a 4 km de largura, exibindo um sistema lótico, cujas margens são inundadas durante o período chuvoso, se alarga abruptamente para 10 a 18 km, e se torna lântico (Sioli 1984), em consequências das oscilações e subidas do nível do mar durante o Quaternário (Irion *et al.* 2006 e Costa *et al.* 2007).

A drenagem na margem esquerda do lago Tapajós é esparsa, constituída por rios com 30 a 40 km de extensão e nascentes na Floresta Nacional do Amaná, enquanto na margem direita, os rios são mais abundantes e extensos e contribuem com maior aporte sedimentar (MMA 2009).

O leito do lago Tapajós, como é de se esperar é mais raso, às proximidades de Aveiro (0 a -10 m profundidade), com exposição de bancos de areia, assoalho irregular, íngreme e o canal em forma de “V” aberto. Por sua vez as maiores profundidades (0 a 25 m) estão em direção e próximas a Santarém. Em Aveiro, as áreas mais profundas estão na margem direita, migrando para a margem esquerda, próxima a porção central do Lago e seguindo pela margem esquerda, e então novamente à direita até a cidade de Santarém, o que reflete o canal principal de fluxo das águas, e certamente o antigo leito do rio Tapajós, onde se encontra a maioria dos pontos amostrados (Figura 2).

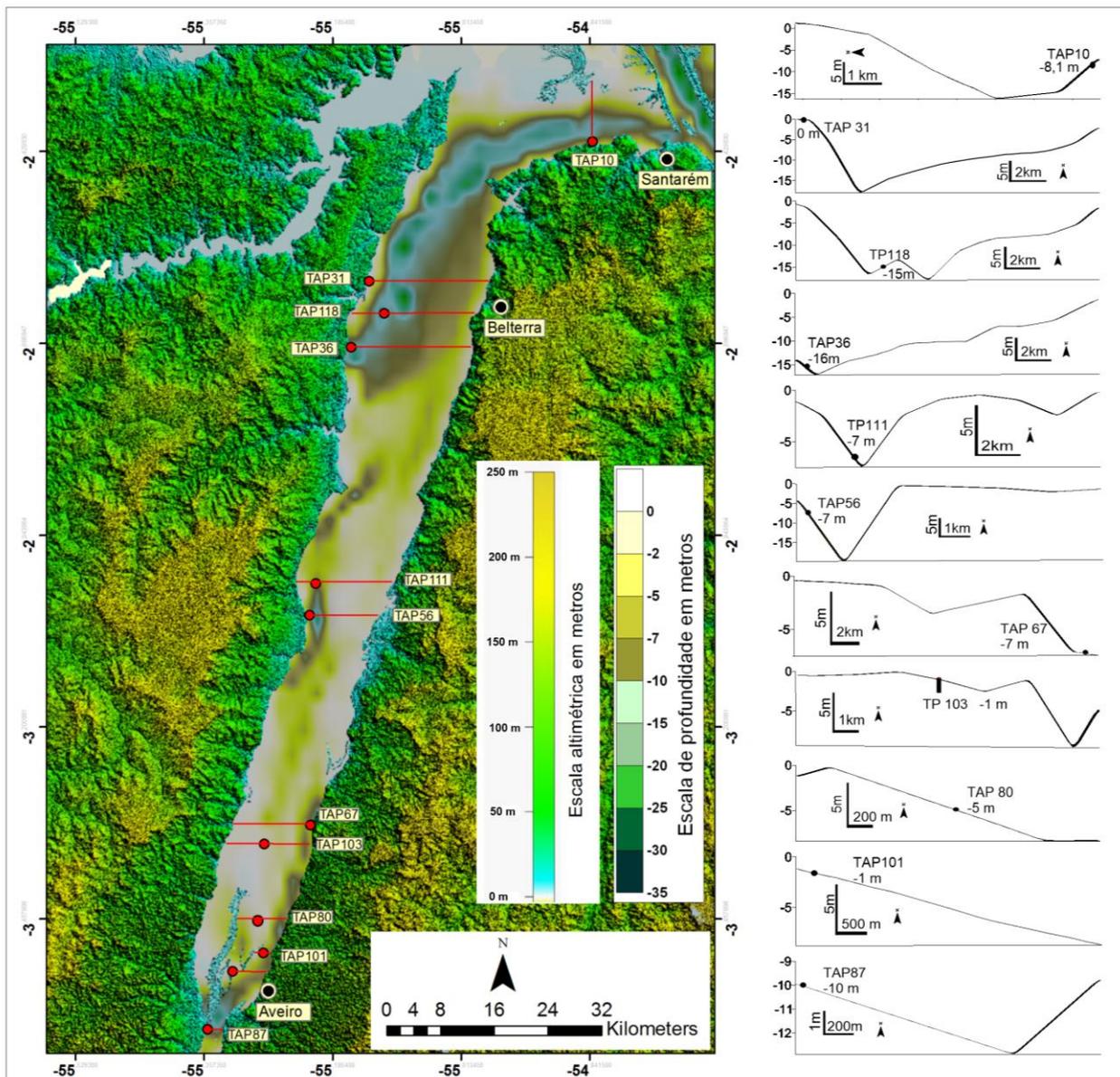


Figura 2 - Mapa simplificado de batimetria do lago Tapajós sobrepostas a imagem SRTM dos terrenos em suas margens, e perfis transversais no ponto de amostragem. Em ambas margens se observam os planaltos com argissolos e latossolos.

### 3.1 GEOLOGIA DA ÁREA DRENADA PELA BACIA DO TAPAJÓS

A Bacia Hidrográfica do Tapajós se estende pelos estados do Mato Grosso, Pará e uma pequena parte do Amazonas. Ela drena os terrenos proterozóicos do Cráton Amazônico, uma porção restrita da Faixa Paraguai e as sequências fanerozóicas das Bacias do Amazonas, do Alto Tapajós e Parecis (Araújo *et al.* 2015) (Figura 3). No entanto, a área de estudo deste trabalho se restringe ao baixo Tapajós, que está restrito à área de abrangência da Bacia

Sedimentar do Amazonas. Por isso, apenas as unidades litoestratigráficas pertencentes a este domínio geotectônico serão abordadas neste trabalho.



Figura 3 - Principais Domínios morfoestruturais drenados pela bacia hidrográfica do Tapajós segundo Araújo *et al.* (2015).

### 3.1.1 Bacia do Amazonas

Tendo em vista que este trabalho tem como enfoque a proveniência dos sedimentos de fundo do Lago Tapajós, aqui serão abordados apenas os aspectos litológicos desta bacia. O preenchimento da Bacia do Amazonas foi agrupado por Cunha *et al.* (1994) em três Superseqüências (ordoviciano-devoniana, devoniano-carbonífera, carbonífero-permiana); e

duas Sequências (cretácea superior e cenozóica).

A evolução da bacia teve início com a deposição da Supersequência ordoviciano-devoniana, que é constituída pelas sequências marinhas das Formações Autás-Mirim, Nhamundá, Pitinga e Manacapuru, reunidas no Grupo Trombetas. A Supersequência devoniano-carbonífera é composta pelos grupos Urupadi (Formação Maecuru e Ererê) e Curuá (Formações Curiri, Oriximiná e Faro), ambos de ambiente flúvio-deltaico a marinho raso. A Supersequência carbonífero-permiana é representada pelo Grupo Tapajós (Formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá), que possui um amplo espectro de padrões de sedimentação, tanto continentais como marinhos restritos, de constituição clástica, carbonáticas e evaporítica.

A sedimentação na Bacia do Amazonas é encerrada pela deposição de duas sequências continentais, uma cretácea superior (Formação Alter do Chão) e outra cenozóica (formações Solimões e Içá), depositadas por sistemas fluviais e flúvio-lacustres. As Supersequências descritas estão em parte associadas à diques e soleiras basálticas relacionadas ao Magmatismo Penatecaua, situados principalmente entre as Formações Nova Olinda e Alter do Chão (Marzulli *et al.* 1999).

Aqui serão destacadas apenas as unidades litoestratigráficas constituintes da Sequência cretácea superior, pois esta é a única drenada pelo baixo curso do rio Tapajós, aqui denominado Lago Tapajós, por conta da baixa energia deste sistema anteriormente fluvial, que atualmente é barrado, em sua foz, pelas águas do Rio Amazonas. Além disso, dada a condição lacustre, pressupõe-se que o aporte sedimentar atual seja proveniente principalmente de suas margens, com pouca contribuição vinda da região a montante.

### **3.1.2 Formação Alter do Chão**

A Formação Alter do Chão é a principal unidade aflorante nas margens e nas proximidades do Lago Tapajós (Figura 4). Ela é representada por arenitos brancos, róseos e avermelhados, médios a grossos, com intercalações conglomeráticas e níveis argilosos centimétricos a métricos, contínuos lateralmente, além de brechas intraformacionais, atribuídos a sistemas fluvial, lacustre e deltaico (Caputo 1984, Daemon 1975, Souza *et al.*

2012).

Dino *et al.* (1999) reconheceu na Formação Alter do Chão duas sequencias distintas sob o aspecto paleoambiental. A sequência basal é constituída por terrígenos associados a um sistema fluvial meandrante que evolui para um sistema anastomosado, com retrabalhamento eólico, de idade neoptiana/eoalbiana. Já a sequência superior é composta por ciclos progradacionais flúvio-deltaicos-lacustre de idade cenomaniana.

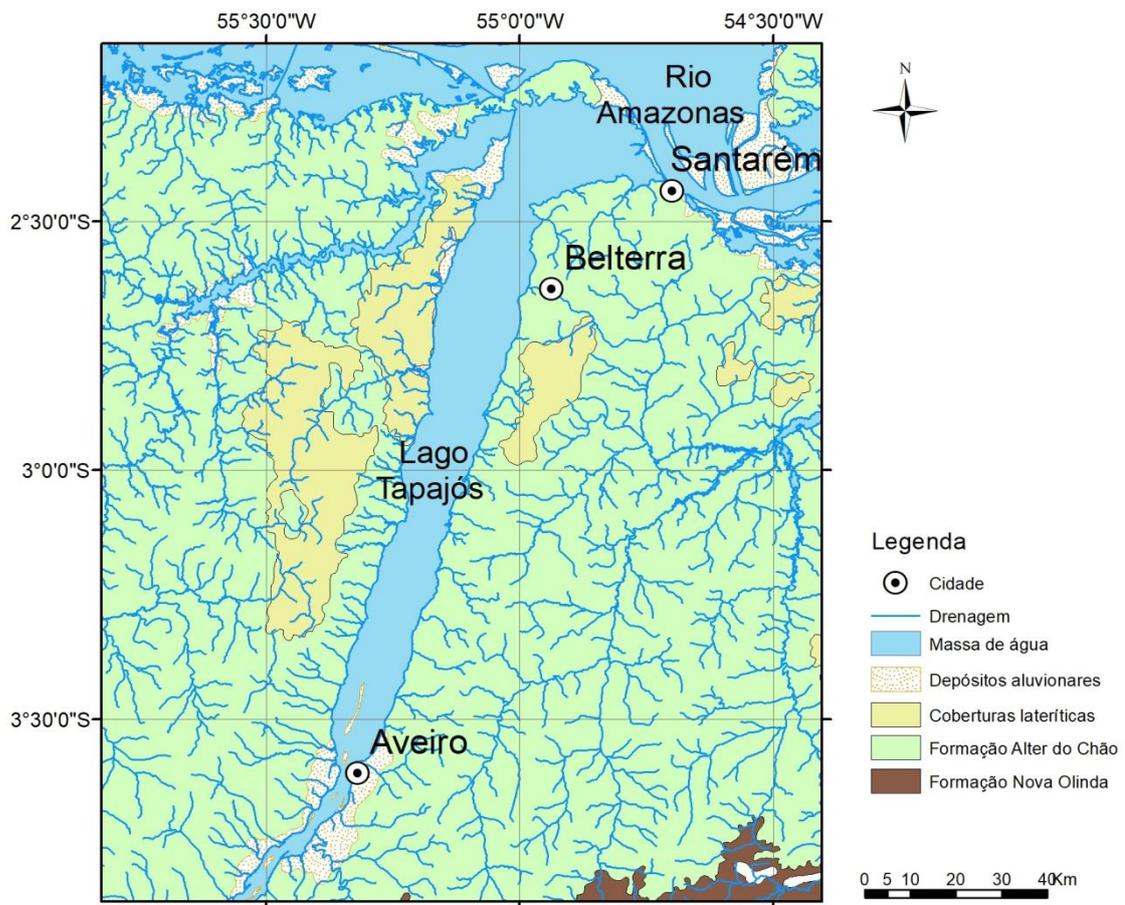


Figura 4 - Geologia da área de abrangência do Lago Tapajós. Fonte: CPRM (2004).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 AMOSTRAGEM

A amostragem dos sedimentos de fundo do lago Tapajós foi realizada com emprego de draga tipo *Shipeck* (para os sedimentos de interface água-sedimento de até 10 cm de espessura) e testemunhador tipo *Kasten Core* (para sondagens até 100 cm de profundidade) entre os anos de 2012 e 2013 pelo projeto *Amazon River*, uma parceria entre a Universidade Federal do Pará e a Universidade de Washington, coordenado pelos professores doutores Pedro Walfir Martins de Souza Filho e Charles Albert Nittrouer.

Para a realização deste trabalho selecionou-se oito pontos de amostragem de sedimentos de interface água-sedimento e três perfis de sondagem com 60 a 90 cm de profundidade. Nestes perfis de sondagem foram coletadas amostras, cada uma correspondendo a intervalo de 2 cm e intervalada a cada 2 cm pelo autor e supervisão do Dr. Charles Nittrouer, Universidade de Washington.

Todas as amostras foram fotografadas no ato da coleta e então secas em laboratório em temperatura ambiente e desagregadas (Figura 5).

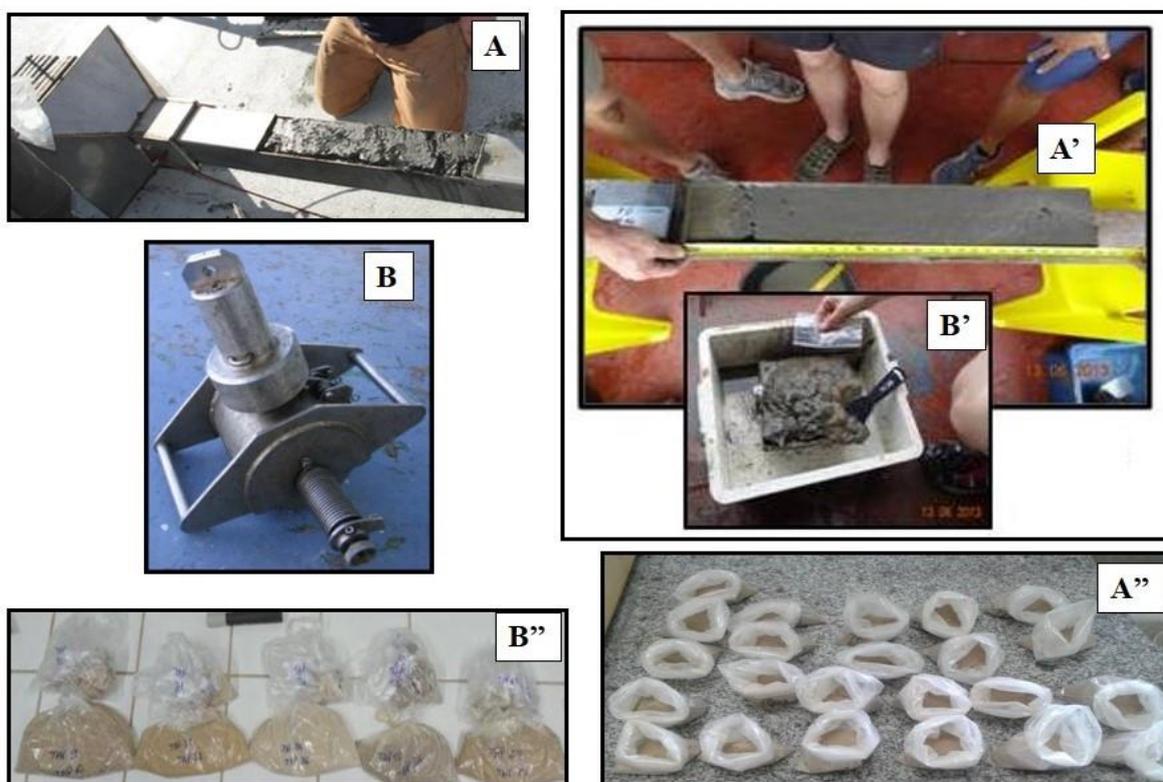


Figura 5 - A) Amostrador tipo *Kasten Core*; A') perfil coletado, medido e subamostrado a cada 2 cm; A'') subamostras do perfil após secas. B) Amostrador tipo *Shipeck*; B') amostra de interface água-sedimento; B'') amostras de interface após secas.

## 4.2 SEPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA

De cada uma das amostras subtraiu-se uma alíquota de 3g, a qual adicionou-se 40ml de água destilada com pirofosfato de sódio (0,9g/L) durante 24h, conforme procedimentos de Jorge (1980), e então submetida ao granulômetro a laser *Analysette 22 Micro – Fritsch*, do Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações (LAMIGA) do Museu de Geociências da UFPA. Os resultados obtidos foram avaliados segundo os procedimentos de Shepard (1954), Shepard & Moore (1954) e Folk Ward (1957).

## 4.3 ANÁLISES MINERALÓGICAS

A constituição mineralógica de todas as amostras foi determinada por Difractometria de Raios X (DRX), método do pó, com utilização do difratômetro, *Bruker D2 Phaser* do LAMIGA do Museu de Geociências da UFPA. As condições de análise foram faixa angular de 5 a 74,98 °C, passo 0,02°, tempo/passo 38,4 s, tempo total 720 s, fenda 0,2 °C e potência 300 W, com anodo de Cu.

Para a caracterização dos minerais de argila empregou-se previamente o seguinte procedimento. Extração da fração argila, que consistiu em adicionar 10g de amostras em béquer de 250 ml, mais 100 ml de água e 25 ml de pirofosfato de sódio e submetidas por 10 minutos em aparelho de ultra-som para desagregar a amostra. A solução foi transferida para tubos de polietileno para centrifugação a 2000 rpm/10min. Da suspensão obtida (fração argila) pipetou-se cerca de 2ml sobre lâmina de vidro temperado para secagem em temperatura ambiente (lâmina orientada) e em seguida analisada por DRX. Essas lâminas orientadas e analisadas por DRX foram glicoladas com etileno-glicol, novamente analisadas por DRX e finalmente aquecidas a 550°C durante duas horas e analisadas mais uma vez por DRX, conformes procedimentos de Moore & Reynolds (1989). Essas análises foram realizadas em um difratômetro modelo X'PERT PRO MPD (PW3040/60), da *PANalytical*, com goniômetro PW3050/60 ( $\theta / \theta$ ), tubo de Raios-X cerâmico e anodo de Cu ( $K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$ ), modelo PW3373/00 com foco fino (2200 W / 60 kV) e filtro  $K\beta$  de níquel. O detector utilizado é do tipo RTMS, X "Celerator". A preparação das lâminas foi realizada no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências (IG) da UFPA e a calcinação no Laboratório de Análises Químicas do Instituto de Geociências (IG) da UFPA. As análises de DRX foram realizadas pelo Laboratório de Caracterização Mineral (LCM) do Instituto de

Geociências (IG) da UFPA. Todos os resultados foram tratados com auxílio do programa *HighScore Plus X'Pert PANalytical*.

#### 4.4 EXTRAÇÃO DOS MINERAIS PESADOS

100 g de cada amostra foram peneiradas a seco e os grãos retidos apenas nas peneiras com aberturas de 0,125 e 0,063 mm (areia fina e areia muito fina) foram utilizados, e então submetidos a limpeza com HCl diluído com água destilada (30% para 70%) em ultrassom por 10 minutos, secos em estufa a 50°C, e então submetidos a técnica de separação de minerais pesados por gravidade, empregando-se bromofórmio ( $d = 2,89 \text{ g/cm}^3$ ). Estes procedimentos foram realizados no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da UFPA e Laboratório de Sedimentologia e Polimento do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG). Ressalta-se que para as amostras dos perfis, as subamostras de 2 em 2cm foram unidas e homogeneizadas (0 a 20cm; 20 a 40cm; 40 a 60cm) de acordo com o tamanho total do perfil, como exemplificado na figura 6, para se obter o volume necessário para o procedimento, que por se tratar de sedimentos finos, utilizou-se mais de 100 g (Figura 6).



Figura 6 - Exemplos dos procedimentos realizados: A) demonstração dos pacotes de junção de um dos perfis para extração de minerais pesados; B) peneiramento para extração das frações de 0,125 e 0,063 mm; C) limpeza dos grãos com HCl em ultrassom por 10 min.; D) extração de minerais pesados por densidade com uso de bromofórmio.

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DOS MINERAIS PESADOS

Dos 16 concentrados de minerais pesados obtidos foram montados em lâminas delgadas para identificação e quantificação mineralógica com microscópio ótico Leica, com câmera acoplada (Leica MC 170 HD) realizados no laboratório de Gemologia do Grupo de Mineralogia e geoquímica Aplicada da UFPA (GMGA).

Paralelamente os grãos foram imageados com microscópio eletrônico de varredura (MEV) com elétrons retroespalhados e analisados com EDS (Energy Dispersive Spectroscopy), com ênfase aos grãos de zircão com auxílio de MEV Zeiss modelo LEO-1430. As condições de operação para obtenção das imagens foram: corrente do feixe de elétrons = 90  $\mu$ A, voltagem de aceleração constante = 20 kV, distância de trabalho = 15 mm, acoplado de EDS IXRF modelo Sirius-SD. As condições de operação no EDS foram: corrente do feixe de elétrons = 90  $\mu$ A, voltagem de aceleração constante = 20 kV, distância de trabalho = 15 mm, tempo de contagem para análise dos elementos = 30s. As condições de operação foram: corrente do feixe de elétrons = 90  $\mu$ A, voltagem de aceleração constante = 10 kV, distância de trabalho = 13 mm. Todas essas análises foram realizadas no Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências – UFPA.

#### 4.6 ANÁLISES QUÍMICAS TOTAIS

Foram analisadas 8 amostras de interface água-sedimento e 31 amostras dos perfis, totalizando 39 amostras para análises químicas totais, envolvendo os elementos maiores representados por seus respectivos óxidos ( $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $Na_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ) e elementos traços. Os elementos maiores foram determinados por Espectrômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). Para tal as amostras foram previamente fundidas com metaborato/ tetraborato de lítio e estão digeridas com ácido nítrico diluído. Os elementos traços (Ba, Ce, Cr, Co, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr) foram determinados em Espectrômetro de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS), após fusão utilizando borato de lítio. Os metais base (Ag, Cd, Co, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sc, Zn) foram identificados por ICP-OES, após digestão ácida, enquanto As, Bi, Hg, In, Re, Sb, Se e Tl foram identificados por ICP-MS, após digestão com água régia. C e S foram quantificados por

Espectrofotometria de Infravermelho. A perda ao fogo foi determinada por calcinação a 1000°C. Todas essas análises foram realizadas junto aos laboratórios ALS GLOBAL/Peru.

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DOS SEDIMENTOS**

#### **5.1.1 Interface Água-Sedimento**

Das oito amostras analisadas, cinco apresentam predominância de areia, e três de silte, classificadas como areia, areia siltica, silte arenoso e silte argiloso (Figura 7 - B) no diagrama de Shepard (1954). As arenosas (TAP 10, TAP 31, TAP 36, TAP 56 e TAP 67) ocupam os canais subaquáticos do lago Tapajós, em profundidades de 0 a -16 metros, portanto refletindo o fluxo de maior energia, refletindo assim nitidamente o canal e margens. As demais amostras (TAP 80, TAP 101 e TAP 87) são silticas arenosas a argilosas, e estão fora dos canais, em profundidades de -1 a -10m, portanto típico de ambiente de baixa energia (Figura 7 – A).

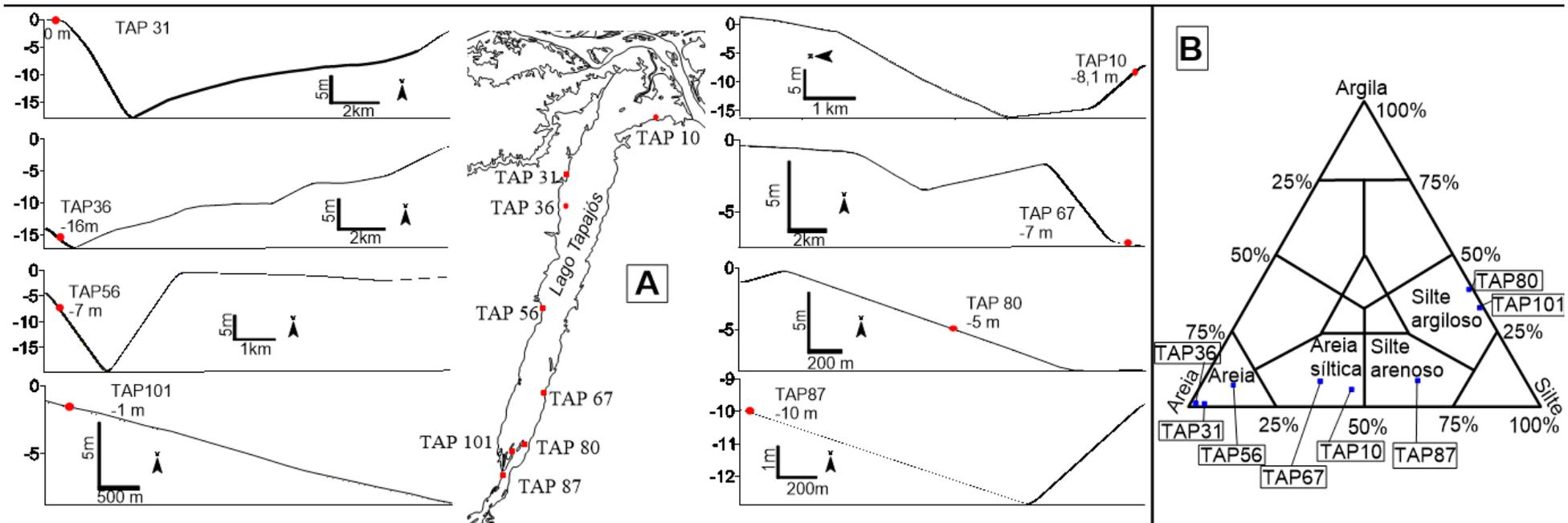


Figura 7 - A) Mapa com localização das amostras de interface água-sedimento e respectivas seções batimétricas esquemáticas com a profundidade de cada amostra; B) diagrama de classificação granulométrica segundo Shepard (1954).

### 5.1.2 Perfis

A constituição granulométrica dos sedimentos dos três perfis é em geral bastante distinta dos de interface água-sedimento. No entanto não há grandes variações granulométricas ao longo de cada um dos três perfis (TP 103, TP 111 e TP 118). O perfil TP 103 (Figura 8-A), localizado ao sul do lago, às proximidades da cidade de Aveiro (sul) com 1m de lâmina d'água, é predominantemente siltoso (61 a 72%), com 10 a 30% de areia e 8 a 16% de argila, ou seja, são sedimentos siltico arenosos a siltico argilosos (Figura 8-B, C).

Os sedimentos do perfil TP 111 (Figura 8-A'), localizado na porção central do lago, dentro de um canal em forma de "V" com 7m de lâmina d'água, são dominados por silte (72 a 76%), seguido de argila (16 a 22%), e 2 a 9% de areia, assim, classificado como siltico argiloso ou siltico (Figura 8-B', C), portanto mais finos do que o anterior.

Os do perfil TP 118 (Figura 8-A''), localizado na porção norte do lago, às proximidades de Santarém, dentro de canal em forma de "W" em um dos pontos mais profundos amostrados, ou seja, 15m de lâmina d'água, é também dominado por silte (66 a 72%), acompanhado de argila (18 a 29%), e areia (2 a 9%), classificado como siltico argiloso (Figura 8-B'', C).

Portanto observa-se claramente uma diminuição da granulometria dos sedimentos dos perfis, de arenoso siltico para siltico argiloso de sul para norte, em direção ao rio Amazonas.

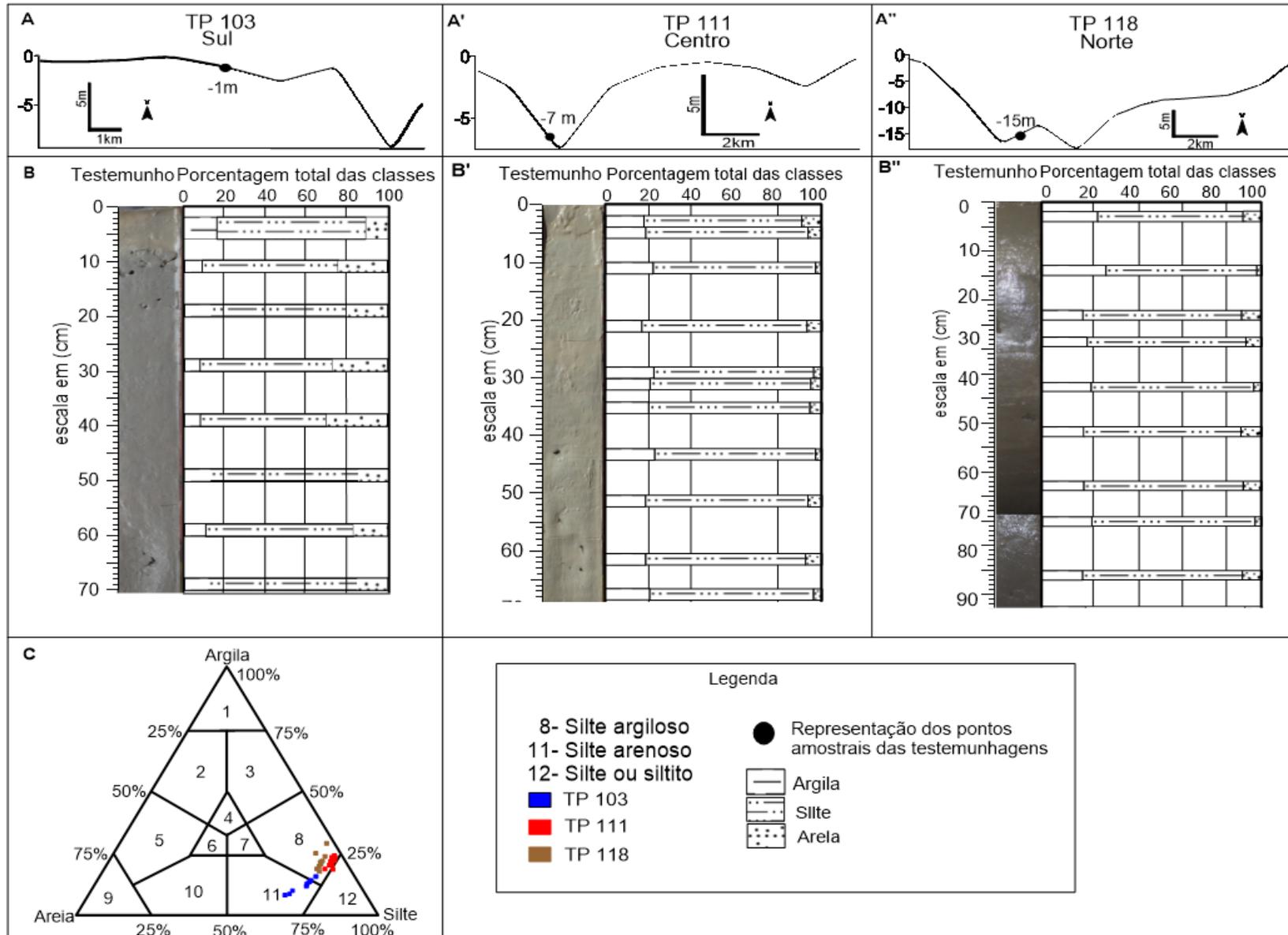


Figura 8 - A) perfil batimétrico dos pontos amostrais; B) fotografias dos Perfis (cedida pelo professor Dr, Charles Nittrouer, Universidade de Washington) e intervalos analisados por granulometria a laser (2cm); C) diagrama ternário dos Perfis, segundo a classificação de Shepard (1954).

## 5.2 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

### 5.2.1 Interface Água-Sedimento

Os sedimentos de interface água-sedimento são constituídos em ordem decrescente por quartzo (Qtz), caulinita (Kln), illita (Il), muscovita (Ms) e anatásio (Ant) (Figura 9). Illita e muscovita estão presentes principalmente nas amostras TAP 80 e TAP 101, e o anatásio nas amostras TAP 80, 101 e 87, essas amostras tem como característica comum, serem siltosas e estarem situadas na extremidade sul do lago, enquanto as demais são arenosas (porção central e norte) (Tabela 1). A contribuição dos minerais de argila aumenta nitidamente em sentido para sul, com surgimento de illita e fortemente relacionado ao aumento da fração silte-argila.

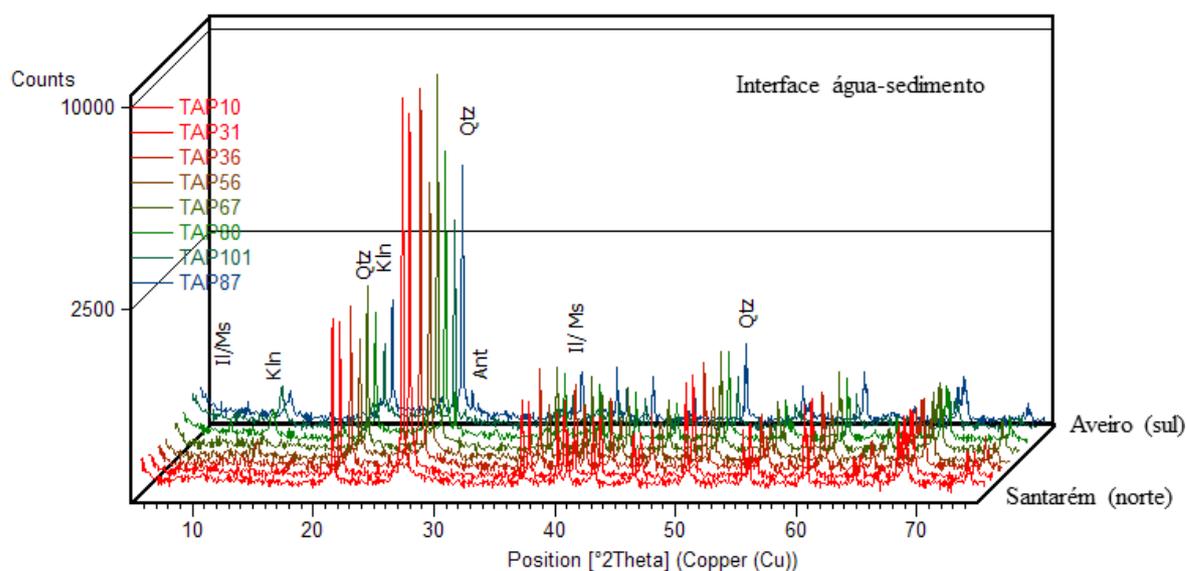


Figura 9 - Difratoformas das amostras de interface água-sedimento entre Aveiro (sul) – Santarém (norte). Quartzo (Qtz), caulinita (Kln), illita e muscovita (Il/Ms), e anatásio (Ant).

Tabela 1 - Classificação e percentual granulométrico e constituinte mineralógico do material interface água-sedimento. Quartzo (Qtz), caulinita (Kln), illita e muscovita (Il/Ms), anatásio (Ant).

AMOSTRA	PREDOMINÂNCIA	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	MINERALOGIA
(Norte) TAP 10	Areia fina	7,17	44,97	47,86	Qtz
TAP 31	Areia média	0,75	1,09	98,16	Qtz
TAP 36	Areia média	0,61	1,17	98,22	Qtz, Kln
TAP 56	Areia fina	5,58	6,93	87,49	Qtz, Kln
TAP 67	Areia fina	9,85	35,39	54,75	Qtz, Kln
TAP 80	Silte muito fino	38,08	61,9	0,03	Qtz, Kln, Il/Ms, Ant
TAP 101	Silte fino	32,49	67,45	0,06	Qtz, Kln, Il/Ms, Ant
TAP 87 (Sul)	Silte grosso	18,44	48,56	33,01	Qtz, Kln, Ant

### 5.2.2 Perfis

Por sua vez, as amostras de sedimentos ao longo dos perfis constituem-se além daqueles da interface água-sedimento (quartzo, caulinita, illita, muscovita e anatásio) de goethita, gibbsita e álcali feldspatos (Figuras 10, 11 e 12). Estes perfis se destacam pela abundância da caulinita, principalmente no intervalo de 38-40 cm no perfil TP103 e 34-36 cm no TP 111, ao sul e centro do lago, porém ainda mais abundante e com variações quantitativas no perfil TP 118 ao norte do lago. Essa composição mineralógica está associada as variações pontuais granulométricas dos sedimentos dos perfis (Tabela 2).

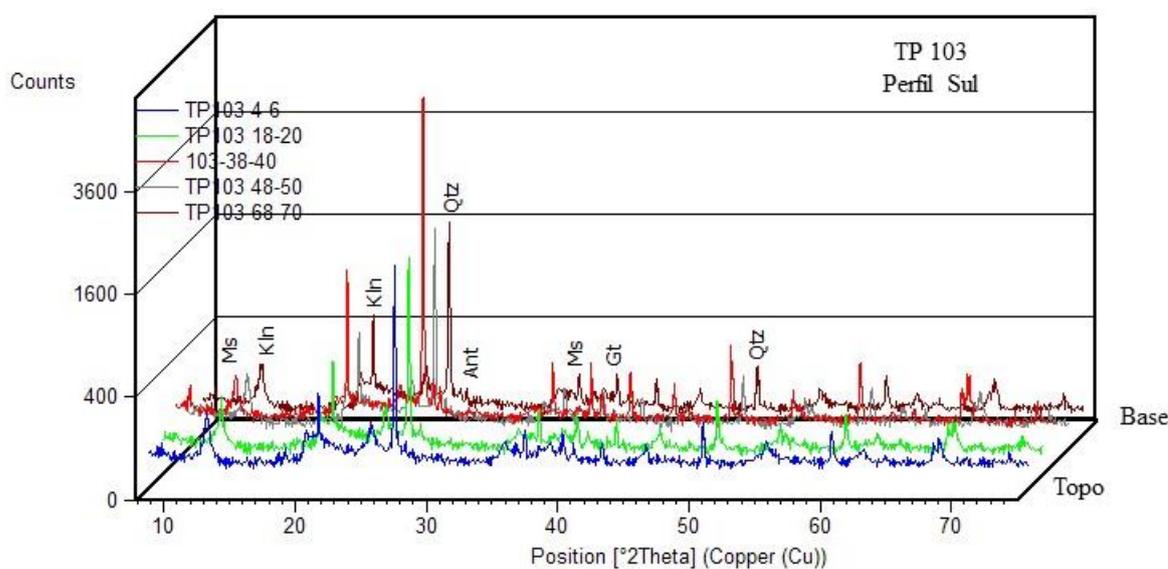


Figura 10 - Composição mineralógica dos sedimentos de até 70 cm de profundidade, obtida por DRX (perfil TP 103, nas proximidades de Aveiro). Quartzo (Qtz), caulinita (Kln), muscovita (Ms), anatásio (Ant) e goethita (Gt).

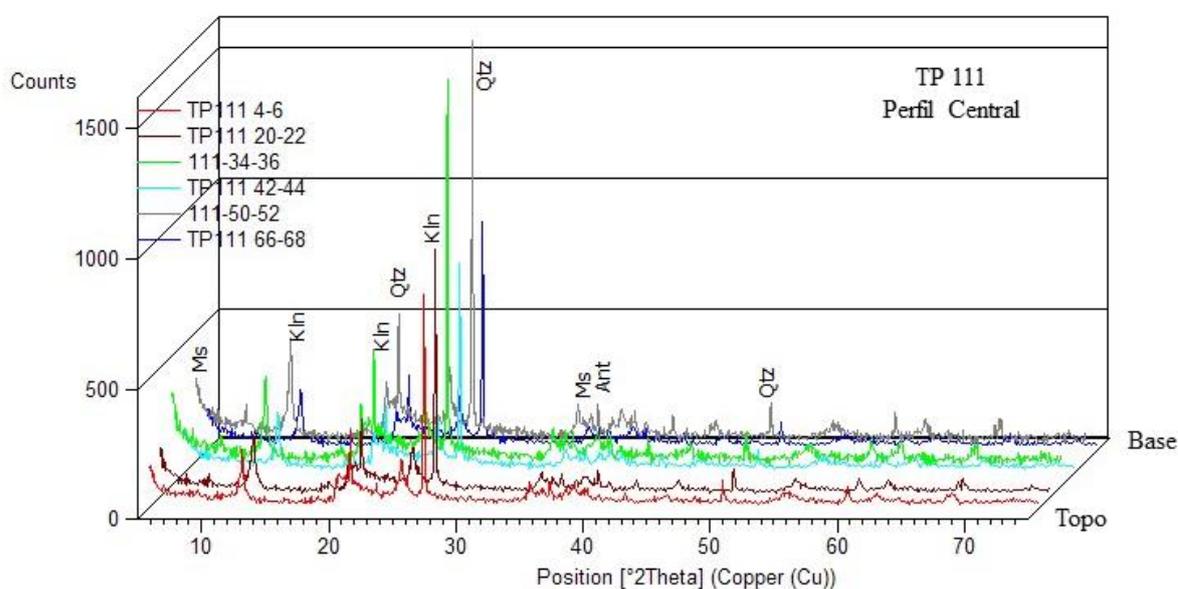


Figura 11 - Composição mineralógica dos sedimentos de até 70 cm de profundidade, obtida por DRX (Perfil TP 111 porção central do lago). quartzo (Qtz), caulinita (Kln), muscovita (Ms), anatásio (Ant).

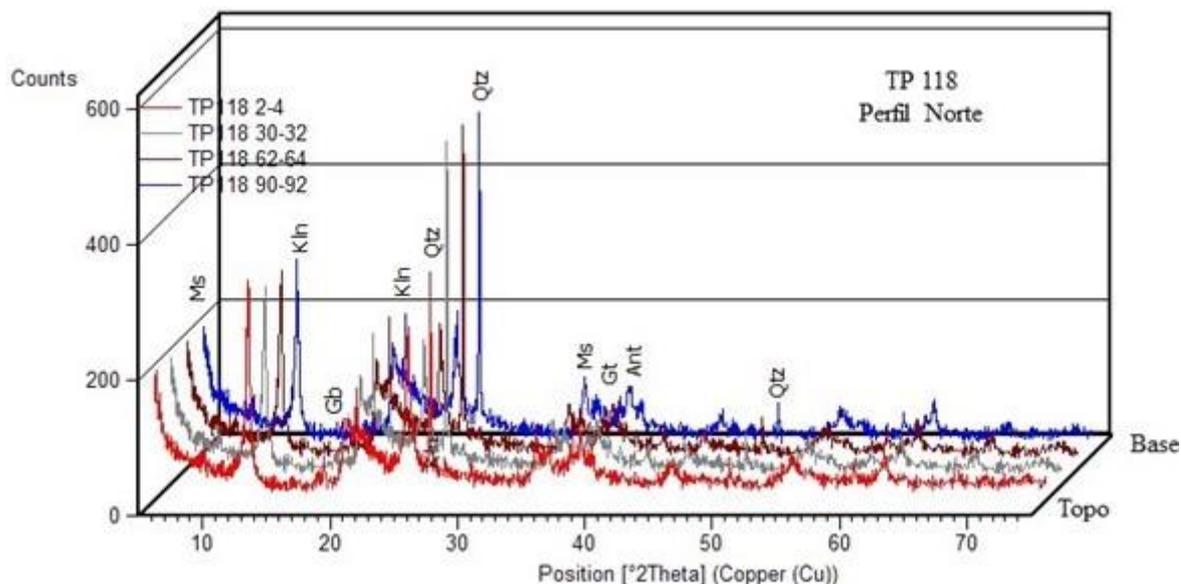


Figura 12 - Composição mineralógica dos sedimentos de até 70 cm de profundidade, obtida por DRX (perfil TP 118 nas proximidades de Santarém, porção norte). Quartzo (Qtz), caulinita (Kln), muscovita (Ms), anatásio (Ant), goethita (Gt), gibbsita (Gb).

Tabela 2 - Média granulometria e composição mineralógica dos perfis. Quartzo (Qtz), caulinita (Kln), muscovita (Ms), anatásio (Ant), goethita (Gt), gibbsita (Gb).

PERFIL	PREDOMINÂNCIA	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	MINERALOGIA
TP103 Aveiro (sul)	SILTE GROSSO	12	69,6	18,2	Kln, Qtz, Ms, Ant, Gt
TP111 (central)	SILTE MÉDIO	20,1	74,6	5,1	Kln, Qtz, Ms e Ant
TP118 Santarém (norte)	SILTE MÉDIO	21,4	71	7,4	Kln, Qtz, Ms, Ant, Gbs e Gt

### 5.3 ARGILOMINERAIS

#### 5.3.1 Interface Água-Sedimento

Na fração argila dos sedimentos de interface água-sedimento, caulinita (Kln) é o mineral de argila predominante, com illita e/ou muscovita (Il/Ms) restrita, porém ambos presentes em todas as amostras analisadas (Figura 13, 14 e 15). Enquanto que esmectita (Sme) está presente somente nas amostras TAP 67 e 87 (setor sul, nas proximidades de Aveiro), respectivamente 103 e 136 km de distância da confluência com o rio Amazonas (Figura 15-H e 14-E).

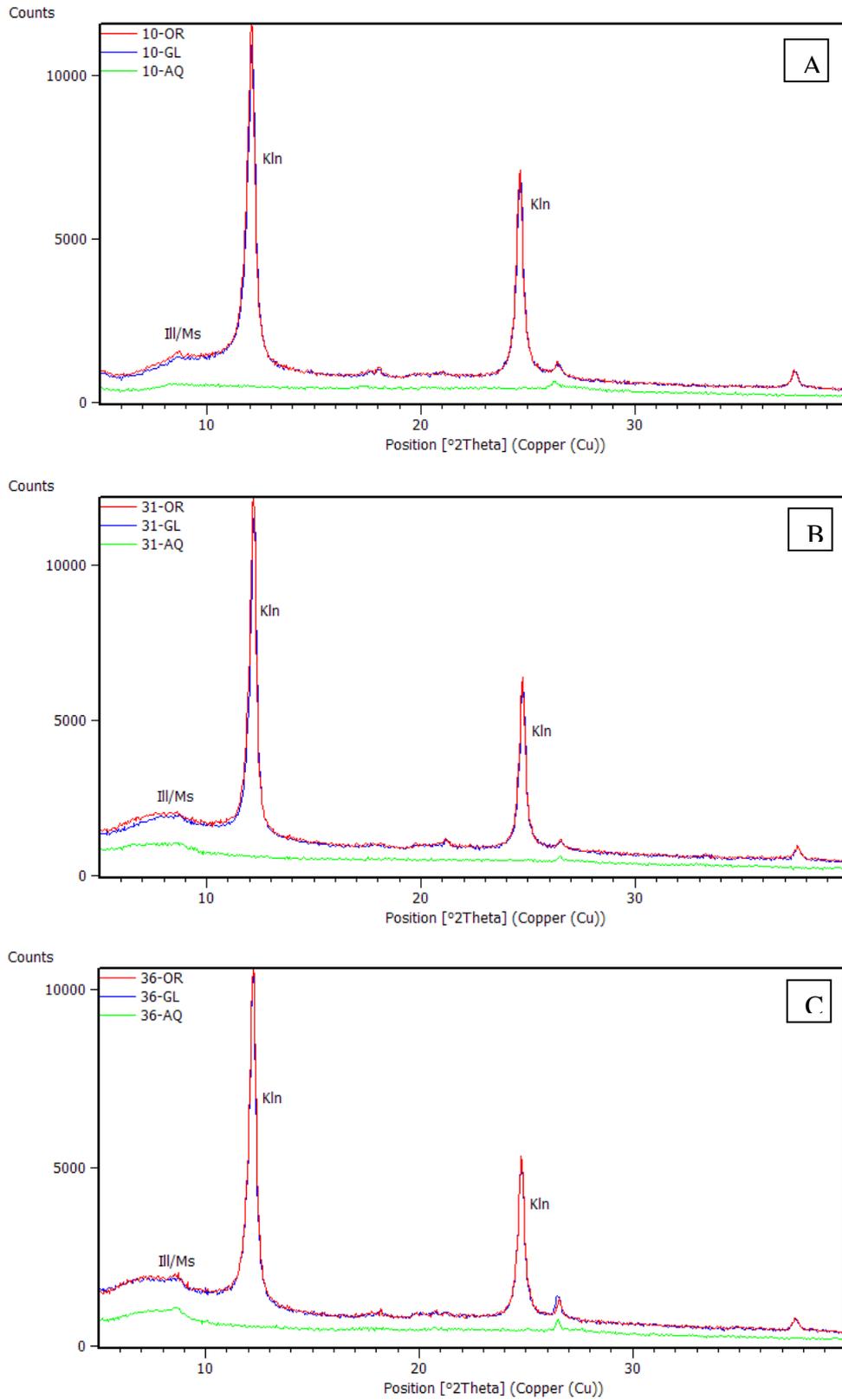


Figura 13 - Diagramas de raios X da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), illita/muscovita (Ill/Ms) das amostras de interface água-sedimento, TAP 10 (A) e TAP 31 (B) e TAP 36 (C) localizadas na porção norte do lago.

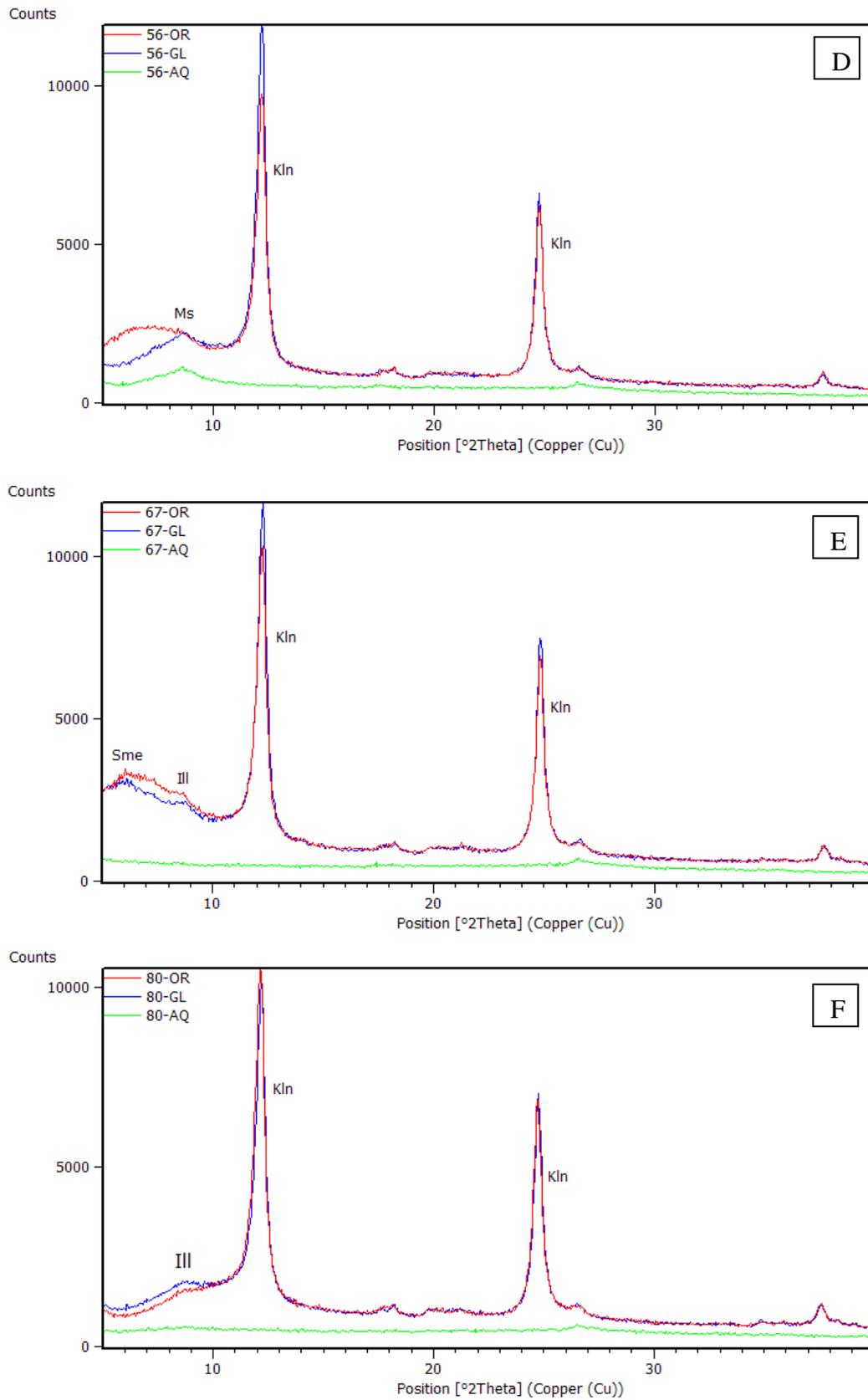


Figura 14 - Difratoigramas de raios X da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (kln), muscovita (Ms), illita (Ill), esmectita (Sme) das amostras de interface água-sedimento, TAP 56 (D) porção central, TAP 67 (E) e TAP 80 (F) porção sul.

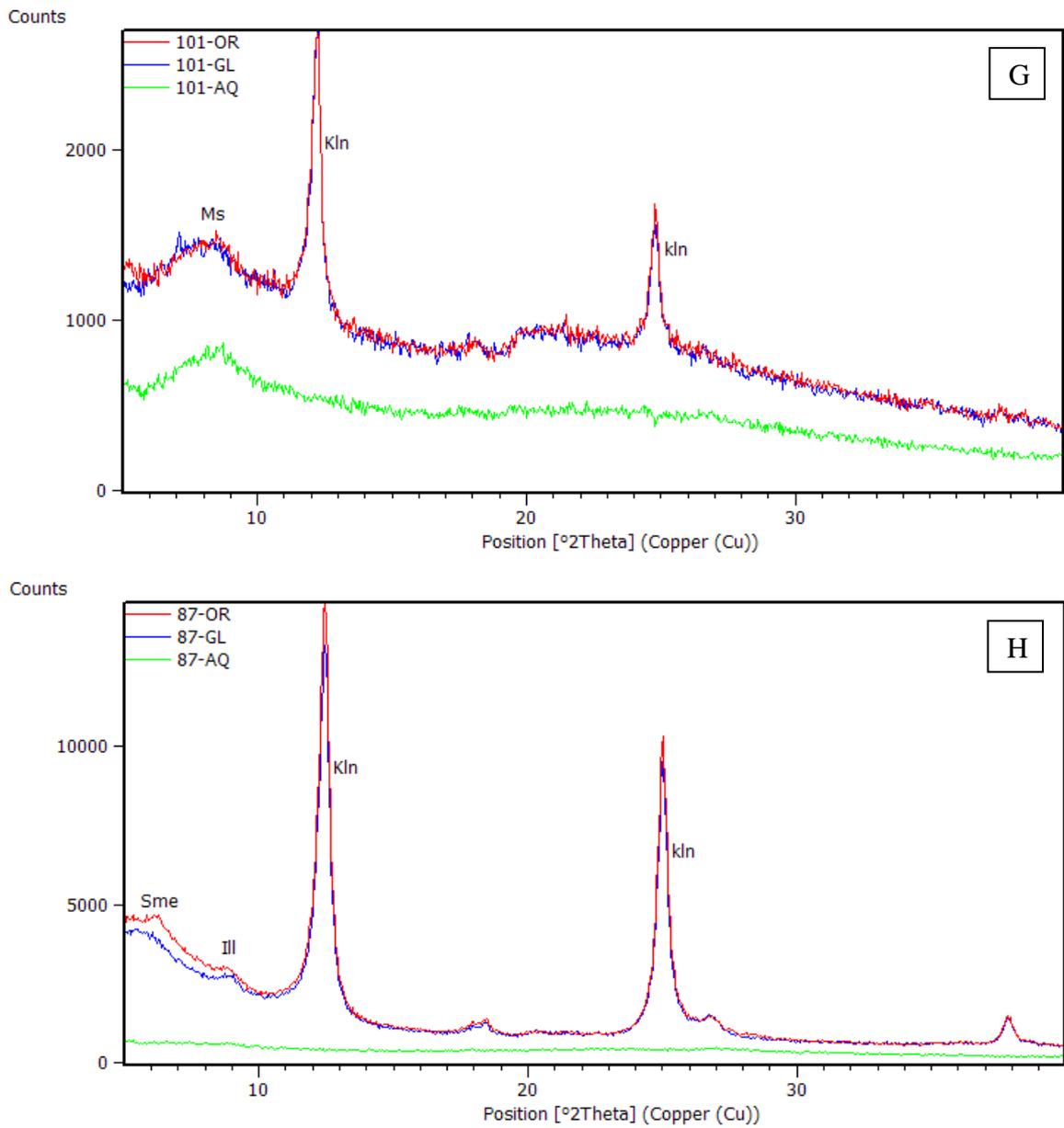


Figura 15 - Difratoogramas de raios X da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), muscovita (Ms), illita (Ill), esmectita (Sme) das amostras de interface água-sedimento, TAP 101 (G) e TAP 87 (H) porção sul.

### 5.3.2 Perfis

Ao longo dos três perfis (Figuras 16, 17 e 18) a fração argila dos sedimentos de furo é representada principalmente por caulinita (Kln), portanto reflete o seu domínio como já demonstrado em análises (DRX) de amostra total, a qual detectou ainda muscovita (Ms). Enquanto esmectita (Sme) foi identificada apenas no perfil TP 103 (2 – 4) e (68 – 70) (Figura 16 – A e C) logo no topo e em sua base às proximidades de Aveiro, a 107 km da confluência com a rio Amazonas. Dessa forma os dados estão em conformidade com a mineralogia dos sedimentos de interface.

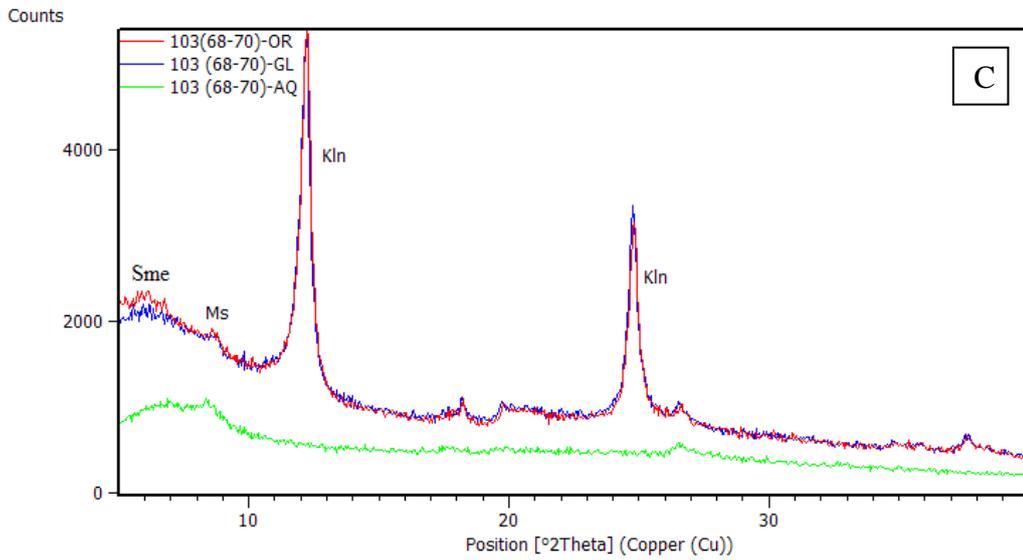
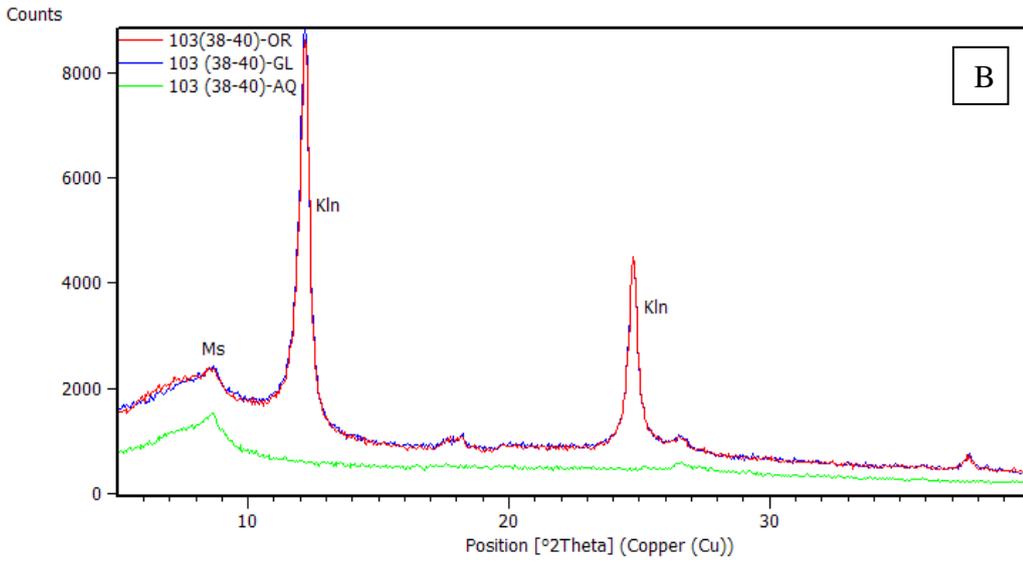
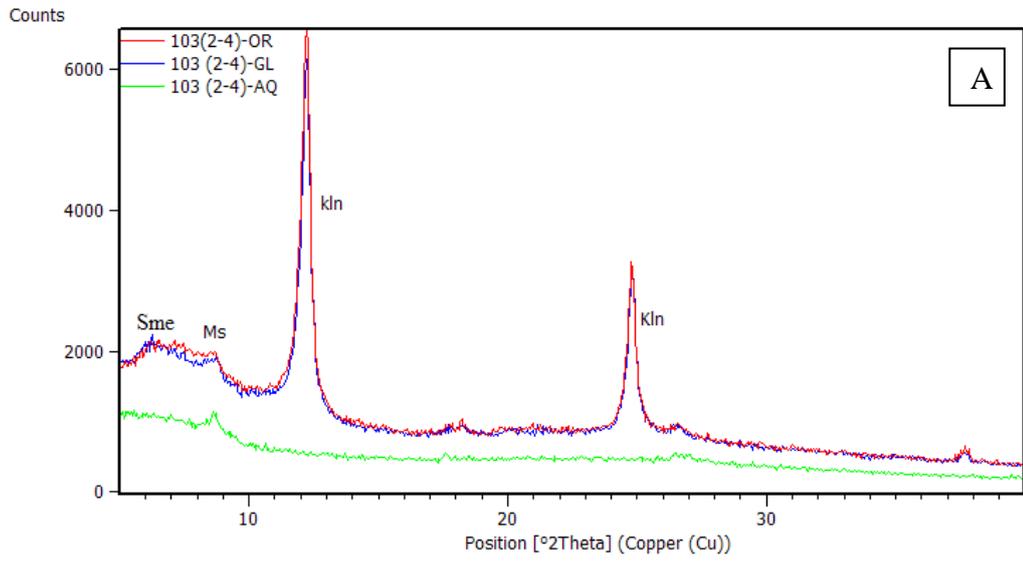


Figura 16 - Difratoogramas de raios x da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), muscovita (Ms), esmectita (Sme) das amostras de profundidade TP 103 (A), (B) e (C) perfil sul.

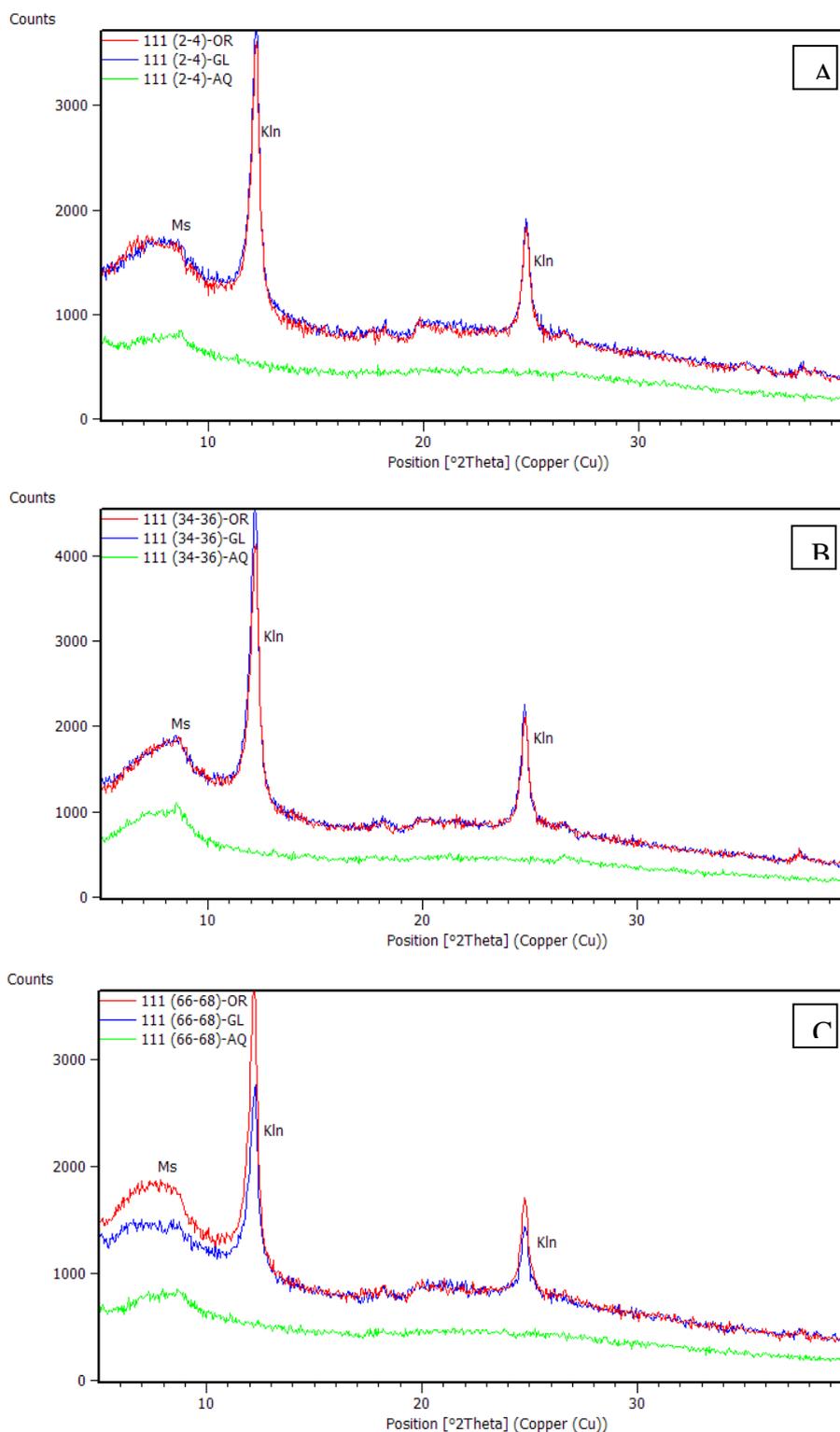


Figura 17 - Difratoogramas de raios x da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), muscovita (Ms) das amostras de profundidade TP 111 (A), (B) e (C) perfil central.

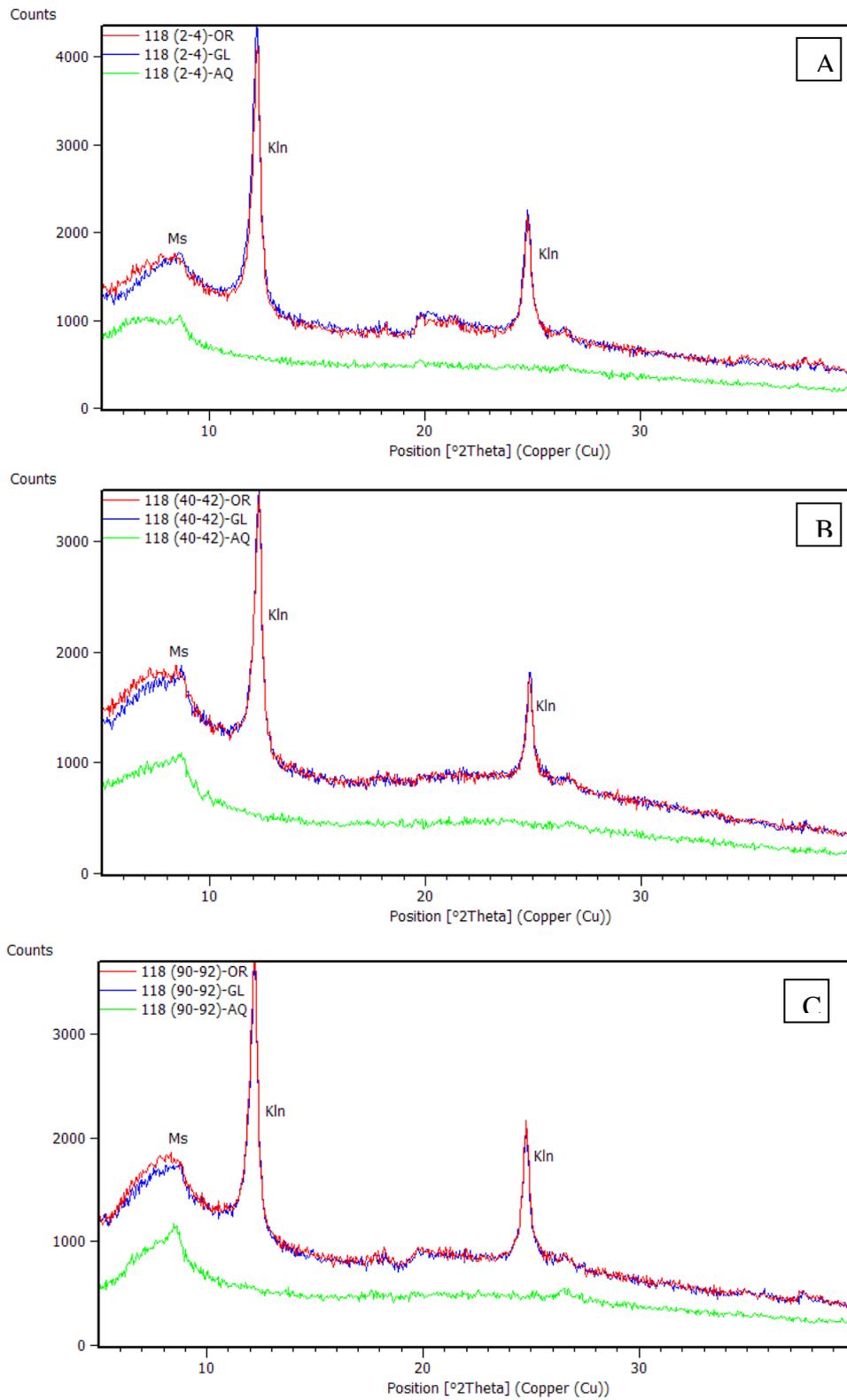


Figura 18 - Difratoigramas de raios x da fração argila em lâminas orientadas (OR), glicoladas (GL) e aquecidas (AQ), com presença de caulinita (Kln), muscovita (Ms) das amostras de profundidade TP 118 (A), (B) e (C) perfil norte.

## 5.4 MINERAIS PESADOS DE INTERFACE ÁGUA-SEDIMENTOS E DOS PERFIS TP 103 E 118

### 5.4.1 Distribuição

Os minerais pesados identificados nas amostras de sedimentos na interface água-sedimentos, em ordem decrescente de abundância são zircão, turmalina, rutilo e cianita. Todas as amostras apresentaram as mesmas espécies minerais, variando apenas em termos de abundância, que pode ser muito expressiva. Os grãos desses minerais se distribuem tanto nas frações de areia fina (0,250 a 0,125 mm) quanto nas frações de areia muito fina (0,125 a 0,063 mm). Essa assembleia mineral, relativamente simples, formada por minerais predominantemente ultraestáveis, embora com forma e texturas superficiais distintas, sugere possivelmente rochas fontes distintas. O zircão é soberano nas amostras da zona central para norte, enquanto a turmalina está principalmente a sul (TAP 87 e 101) e ainda na TAP 10 (no extremo norte). As amostras com maior abundância de rutilo estão entre a porção norte (TAP 31 e 36) e a porção central (TAP 67) (Figura 19).

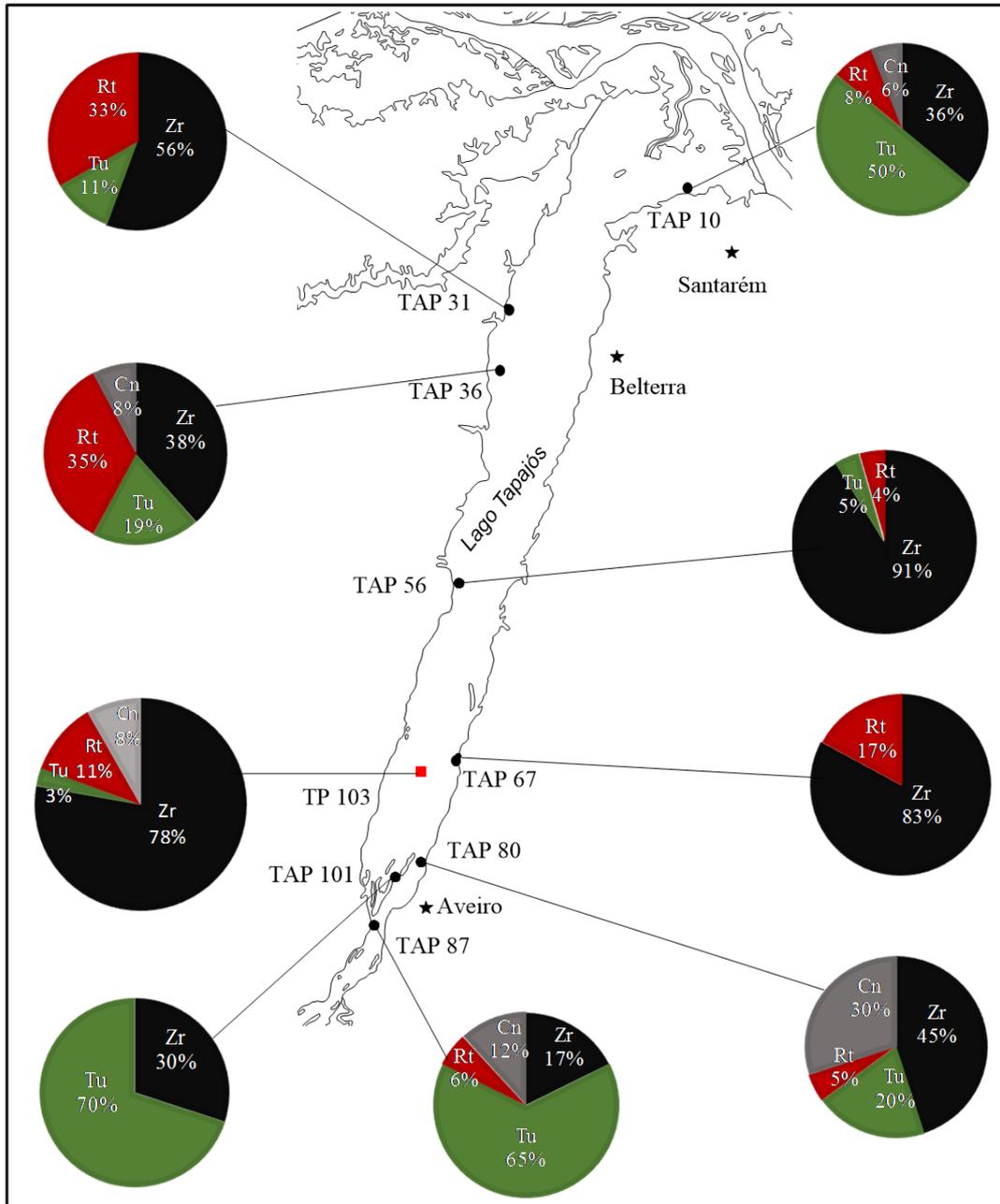


Figura 19 - Distribuição percentual de minerais pesados nas amostras de interface água-sedimentos e do perfil TP 103.

## 5.4.2 Descrição dos minerais pesados de interface água-sedimento

### 5.4.2.1 Zircão

Os grãos de zircão apresentam-se predominantemente incolores com tonalidades castanhas, variam de prismáticos com terminações bipiramidais, até grãos com alto grau de

arredondamento ou com arestas irregulares. Alguns grãos destacam inclusões mineralógicas não identificadas em microscópio óptico; zoneamento, desgastes, marcas abrasivas e fissuras podem ser também observadas (figura 20 – A).

#### 5.4.2.2 Turmalina

Os grãos de turmalina variam de coloração esverdeada com variações de castanho claro, escuro e marrom esverdeado e alguns são prismáticos. Os mesmos podem ser angulosos até arredondados, por vezes em cristais euédricos a subnédricos. Neles podem ser observadas marcas abrasivas e fratura conchoidal, além de inclusões minerais, as quais não foram passíveis de identificação no microscópio óptico (Figura 20 – B).

#### 5.4.2.3 Cianita

A cianita, em menor proporção, apresenta coloração acinzentada ou incolor. Apresentam-se em grãos tabulares, subangulosos, e ainda em cristais euédricos e feições de corrosão. Foram observadas em microscópio óptico inclusões não identificadas e sinais abrasivos (Figura 20 – C).

#### 5.4.2.4 Rutilo

Os grãos de rutilo apresentam-se em coloração castanha a marrom intenso, levemente avermelhados, são irregulares, angulosos a arredondados. Formas euédricas com fraturas e sinais abrasivos, relevo alto (Figura 20 – D).

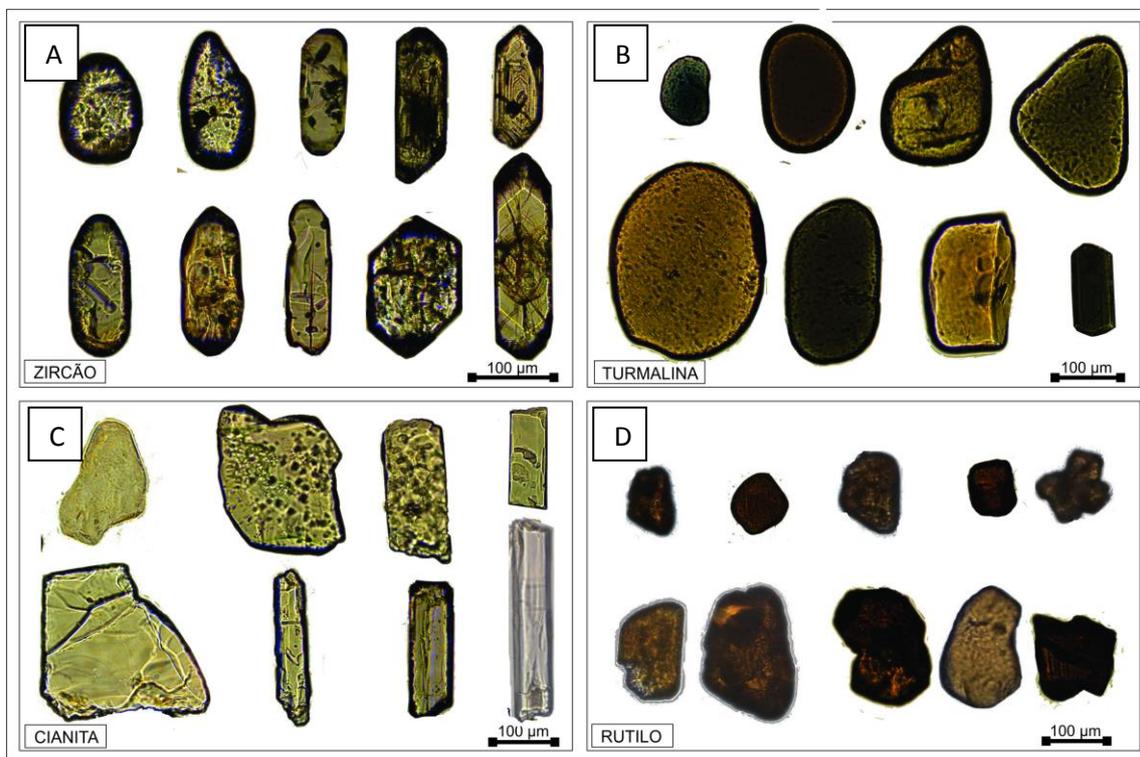


Figura 20 - Alíquota da assembleia de minerais pesados das amostras de interface água-sedimento. A) Zircão; B) Turmalina; C) Cianita; D) Rutilo.

O perfil TP 103, localizado na porção sul do Lago Tapajós, com três sub-amostras, o único que permitiu o estudo de minerais pesados, exibe o predomínio do zircão em grãos exibindo ainda a feição prismática euédricos a subeuédricos, maioria alongados, euédricos a subeuédricos, ou ainda grãos subarredondados a arredondados. Exibem inclusões minerais de tamanhos e cores diversos, mas que não foram passíveis de identificação por microscópio óptico; também mostram zoneamento, sendo a alguns grãos fraturados. A turmalina em menor frequência, exclusiva ao topo do perfil, se apresenta em cristal prismático euédrico perfeito e de coloração esverdeada. Por sua vez, rutilo ocorre ao longo de todo o perfil, em quantidade bem inferior à do zircão, apresenta coloração castanho a levemente avermelhado, com os grãos angulosos na base e meio do perfil, subangulosos no meio, e a cristais euédricos no topo. De modo geral apresentam marcas de abrasão. A cianita encontra-se exclusivamente no topo do perfil, em forma tabular, com marcas de corrosão e coloração cinza azulada a incolor (Figura 21).

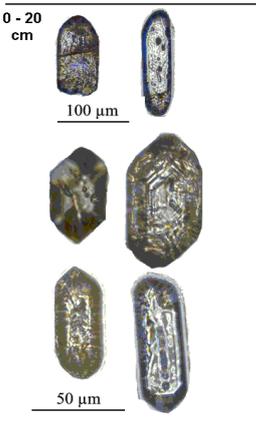
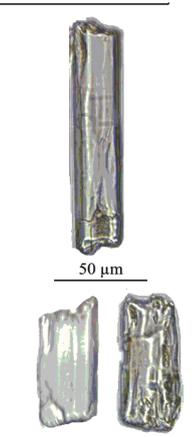
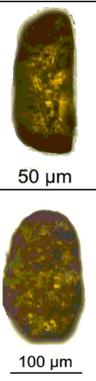
	ZIRCÃO	TURMALINA	RUTILO	CIANITA
0 - 20 cm	 <p>100 µm</p> <p>50 µm</p>	 <p>100 µm</p>	 <p>50 µm</p>	 <p>50 µm</p>
20 - 40 cm	 <p>50 µm</p> <p>100 µm</p>		 <p>50 µm</p> <p>100 µm</p>	
40 - 60 cm	 <p>50 µm</p>		 <p>50 µm</p>	

Figura 21 - Fotomicrografias dos minerais pesados constituintes do perfil TP103 nos intervalos de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60cm.

Já o perfil TP 118 situado na porção norte do lago do Tapajós, em seu exíguo concentrado de minerais pesados (malha de areia muito fina), com apenas 2 a 9% de areia, obteve-se concentrado muito pobre de minerais pesados, representados principalmente por grãos de zircão. Eles são de coloração castanha a incolor, irregulares, subangulosos a subarredondados com marcas de abrasão e presença de inclusões de minerais opacos não identificados por microscópio ópticos, muito distintos das amostras anteriores (Figura 22).

TP 118

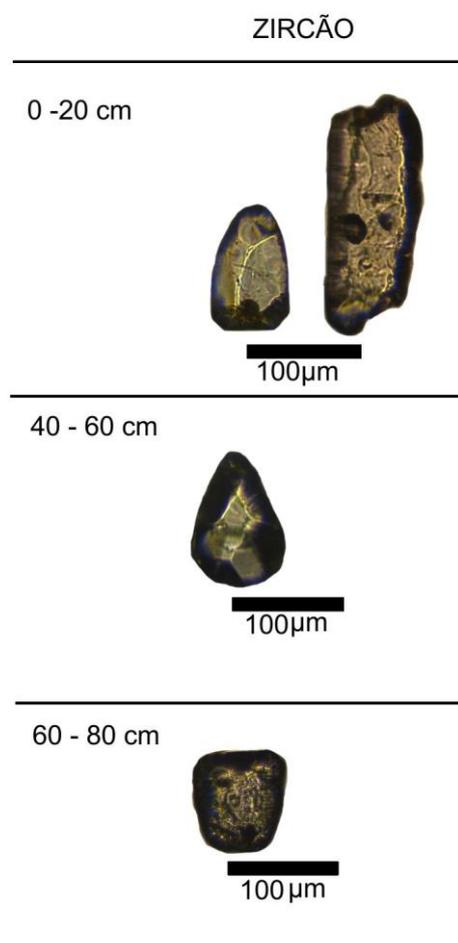


Figura 22 - Fotomicrografias de minerais pesados (zircão) identificados no perfil TP118.

## 5.5 QUÍMICA EDS DOS GRÃOS DE ZIRCÃO

As análises químicas se concentraram tão somente nos grãos de zircão das amostras de sedimentos de interface água-sedimentos, pois foram os que apresentaram quantidade

significativa de material.

Na média geral, os teores de Y estão em torno de 0,74%; Ca, Th e U com valores respectivos de 0,11, 0,16 e 0,18%; Hf estão em torno de 2%; Zr com 56%; e as razões Zr/Hf de 20,12 a 40,49% e Th/U 0,38 a 2,89%. A amostra TAP 10 apresentou a maior variação na razão Zr/Hf, de 22,84 a 40,49 e Th/U entre 0,42 a 1,36; TAP 36 apresentou a menor variação na razão de Zr/Hf, com valores entre 20,12 a 27,53, sendo também observados os maiores valores de Hf entre 2,10 a 2,77. Observa-se que as razões Zr/Hf tendem a aumentar em direção a Santarém, enquanto que Th/U diminuem (Tabela 3). Na média as razões Zr/Hf são praticamente iguais em todos os perfis, com exceção do perfil TAP 36 que está na zona norte, pela margem esquerda, enquanto Th/U é muito variável. Em termos químico-composicionais, talvez a TAP 36 contenha os grãos de zircão que mais divergem dos demais, pelo que se admite que esta tenha tido fonte distinta dos demais.

Tabela 3 - Concentrações químicas (MEV/EDS) em grãos de zircão da interface água-sedimento por EDS.

Zircão da amostra TAP 10											
Pontos de análise	O (%)	Si (%)	Ca (%)	Y (%)	Zr (%)	Nb (%)	Hf (%)	Th (%)	U (%)	Zr/Hf	Th/U
1	24,28	14,08	0,05	0,66	56,17	2,65	1,91	0,12	0,09	29,45	1,36
2	24,62	14,08	0,04	0,71	56,24	2,69	1,39	0,12	0,12	40,49	1,03
3	24,25	14,15	0,06	0,63	56,42	2,73	1,57	0,09	0,11	35,96	0,84
4	25,55	13,90	0,07	0,45	55,19	2,77	1,75	0,17	0,16	31,55	1,11
5	26,78	13,18	0,23	1,72	52,95	2,42	2,32	0,19	0,22	22,84	0,86
6	25,93	13,71	0,08	0,79	54,54	2,63	2,01	0,16	0,16	27,17	0,97
7	26,04	13,60	0,05	0,80	54,54	2,45	2,23	0,08	0,20	24,46	0,42
8	24,84	13,91	0,05	0,60	55,35	2,71	2,26	0,09	0,19	24,48	0,44
9	25,22	13,90	0,07	0,63	55,30	2,75	1,91	0,11	0,12	28,91	0,92
10	25,79	13,87	0,05	0,70	54,97	2,63	1,75	0,11	0,13	31,45	0,90
11	26,22	13,55	0,08	0,81	54,20	2,54	2,27	0,12	0,21	23,89	0,56
12	24,64	14,05	0,07	0,70	55,50	2,69	2,07	0,10	0,18	26,84	0,57
13	25,16	13,97	0,06	0,65	55,36	2,68	1,86	0,12	0,15	29,81	0,81
14	25,54	13,90	0,05	0,61	55,11	2,65	1,87	0,13	0,14	29,42	0,94
15	24,98	14,05	0,06	0,60	55,66	2,71	1,69	0,12	0,14	32,99	0,84
16	24,47	14,11	0,07	0,67	55,98	2,69	1,80	0,11	0,11	31,15	1,04
17	25,24	13,79	0,07	1,00	55,18	2,62	1,81	0,14	0,15	30,47	0,91
18	24,62	14,07	0,06	0,70	55,73	2,73	1,84	0,10	0,17	30,33	0,60
Média	25,23	13,88	0,07	0,75	55,24	2,65	1,91	0,12	0,15	29,54	0,84
Zircão da amostra TAP 31											
Pontos de análise	O (%)	Si (%)	Ca (%)	Y (%)	Zr (%)	Nb (%)	Hf (%)	Th (%)	U (%)	Zr/Hf	Th/U
1	23,40	14,31	0,07	0,62	56,97	2,83	1,53	0,12	0,16	37,21	0,76
2	23,58	14,21	0,08	0,64	56,54	2,76	1,95	0,09	0,17	29,02	0,51
3	25,71	13,27	0,16	0,85	55,04	2,64	2,02	0,09	0,23	27,19	0,38
4	23,52	14,16	0,06	0,54	56,38	2,81	2,26	0,11	0,16	24,93	0,65
5	23,42	14,23	0,06	0,59	56,77	2,81	1,89	0,11	0,14	30,10	0,79
6	23,95	14,10	0,07	0,59	56,44	2,74	1,87	0,09	0,16	30,17	0,59
7	24,25	14,14	0,05	0,69	55,99	2,80	1,81	0,13	0,14	31,02	0,97
8	24,03	14,13	0,07	0,59	56,55	2,79	1,62	0,08	0,16	34,95	0,50
9	24,67	14,10	0,05	0,72	55,78	2,62	1,78	0,10	0,18	31,27	0,58
10	24,20	14,11	0,06	0,66	56,16	2,68	1,92	0,06	0,15	29,19	0,41
11	24,03	14,14	0,06	0,59	56,37	2,74	1,89	0,07	0,12	29,84	0,56
Média	24,07	14,08	0,07	0,64	56,27	2,75	1,87	0,09	0,16	30,44	0,61
Zircão da amostra TAP 36											
Pontos de análise	O (%)	Si (%)	Ca (%)	Y (%)	Zr (%)	Nb (%)	Hf (%)	Th (%)	U (%)	Zr/Hf	Th/U
1	21,45	14,47	0,09	0,55	57,44	3,09	2,38	0,26	0,26	24,12	0,98
2	23,42	13,31	0,73	0,54	55,88	2,74	2,78	0,22	0,38	20,12	0,56
3	21,99	14,13	0,14	1,08	56,56	3,05	2,54	0,28	0,22	22,24	1,29
4	21,33	14,42	0,11	0,38	58,03	3,20	2,11	0,23	0,20	27,54	1,17
5	22,15	14,40	0,11	0,38	56,77	2,96	2,73	0,19	0,31	20,81	0,63
Média	22,07	14,15	0,24	0,59	56,94	3,01	2,51	0,24	0,27	22,97	0,93
Zircão da amostra TAP 67											
Pontos de análise	O (%)	Si (%)	Ca (%)	Y (%)	Zr (%)	Nb (%)	Hf (%)	Th (%)	U (%)	Zr/Hf	Th/U
1	23,23	14,13	0,05	0,65	56,96	2,62	2,09	0,15	0,12	27,30	1,24
2	23,99	13,11	0,18	1,60	56,20	2,56	1,99	0,11	0,26	28,23	0,42
3	25,60	13,35	0,13	0,73	54,73	3,08	2,11	0,10	0,18	25,91	0,53
4	22,93	14,34	0,05	0,58	56,94	2,88	2,01	0,14	0,12	28,33	1,20
5	24,68	13,63	0,45	0,62	55,10	2,77	2,21	0,30	0,24	24,94	1,25
6	22,95	14,30	0,06	0,61	57,03	2,85	1,93	0,14	0,14	29,55	0,95
7	23,52	14,20	0,07	0,60	56,56	2,84	1,96	0,13	0,13	28,85	0,98
8	26,99	10,84	0,42	3,37	53,31	1,95	2,04	0,81	0,28	26,09	2,89
9	23,17	14,28	0,05	0,51	56,61	2,88	2,18	0,11	0,20	26,01	0,52
10	24,30	13,76	0,12	0,98	55,64	2,88	2,00	0,16	0,16	27,76	1,01
Média	24,14	13,60	0,16	1,02	55,91	2,73	2,05	0,21	0,18	27,30	1,10
Média geral	29,04	13,95	0,11	0,74	56,06	2,72	2,04	0,16	0,18	28,11	0,90
Zircão teórico	33,63	14,76	-	-	43,14	-	4,69	-	-	-	-

## 6 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

### 6.1 DOS SEDIMENTOS DE INTERFACE ÁGUA-SEDIMENTO

Os resultados das análises químicas (Tabela 4) mostram que os sedimentos de interface têm ampla variação expressa pelos conteúdos de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e PF (perda ao fogo). E conforme esses teores as mesmas foram classificadas em três grupos de amostras: essencialmente sílica (> 98 %), muito alta sílica (93 a 98 %) e alta sílica (63 a 88 %), o que corresponde as variações granulométricas, respectivamente, areia média, areia fina e silte, sendo as duas primeiras com apenas sutil diferença, em que o mineral dominante é o quartzo. Nitidamente essa diminuição nos teores de  $\text{SiO}_2$  ocorre de norte a sul. Enquanto os teores de  $\text{SiO}_2$  oscilam entre 63,6 e 98,9%, os de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 0,14 a 16,85 %, de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de 0,1 a 4,12 %, de  $\text{TiO}_2$  de 0,03 a 0,68 % e de PF 0,62 a 13,3 %, de forma inversa aos de  $\text{SiO}_2$ , portanto eles aumentam de norte a sul, enaltecendo o aumento dos minerais de argila. É uma variação muito expressiva, que retrata a variação granulométrica e sua composição mineralógica. São valores que oscilam entre abaixo, similar e superior a UCC e os sedimentos PAAS e NASC. Estas variações e interrelações retratam de forma clara a constituição mineralógica dos sedimentos dominados por quartzo e/ou caulinita  $\pm$  goethita  $\pm$  anatásio.

Dentre os metais alcalinos e alcalinos terrosos  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,01 a 0,13 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,01 a 1,08 %),  $\text{CaO}$  (0,01 a 0,22 %),  $\text{MgO}$  (0,01 a 0,26 %), todos se encontram em concentrações muito baixas quando comparadas com aquelas da UCC, mas aumentam ligeiramente nas amostras com valores mais baixos de  $\text{SiO}_2$ , sendo mais notório para  $\text{K}_2\text{O}$ , este (além de  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ ) retratando de forma clara a presença de illita e muscovita, portanto de norte a sul. Os teores de  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  também estão em geral muito abaixo da UCC e dos sedimentos PAAS e NASC, mas que aumentam nas amostras com teor decrescente de  $\text{SiO}_2$ . Teores com comportamento similar são observados por S e C (Tabela 4), aumentando de norte a sul. Deduz-se assim que se correlacionam com o domínio de minerais argilosos, que dominam na fração mais fina dos sedimentos. Portanto quartzo se contrapõe a todos os demais constituintes mineralógicos (caulinita, goethita, illita, muscovita e anatásio) desses sedimentos de interface. As amostras mais arenosas (TAP 10, 31, 36) ao norte correspondem àquelas mais ricas em  $\text{SiO}_2$  e, portanto, em quartzo, enquanto as silteicas arenosas e em parte argilosas (TAP 80, 101 e 87) em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$  e ainda um pouco de  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , ao sul

correspondem a presença crescente de caulinita, illita e muscovita, goethita e anatásio.

Da mesma forma que os teores dos elementos maiores, as concentrações dos elementos traços são extremamente variáveis e em geral seus teores estão abaixo da UCC, e da média das rochas sedimentares (NASC e PAAS), e a variação dos seus teores permite reforçar os três grupos litológicos classificados a partir dos teores de SiO<sub>2</sub>, que em termos gerais refletem os três domínios granulométricos, areia média, areia fina e silte. Excetuando as concentrações de Li, Mo, Se e Te, que estão ≤ LD (limite de detecção) (Tabela 4), todos os demais elementos traços analisados (tabela 4) apresentam valores crescentes com o aumento da fração silte e argila nas amostras, ou seja, dos sedimentos areia média (TAP 10, 31, 36), areia fina (TAP 56, 67) até silte arenoso e argiloso (TAP 80, 87, 101), paralelo ao aumento dos teores dos elementos maiores Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, além de PF. O que indica uma forte relação dos elementos traços analisados com os minerais de argila (illita e muscovita e esmectita), goethita e anatásio, aumentando assim de norte a sul.

Tabela 4 - Composição química total dos sedimentos de interface água-sedimento. As amostras estão dispostas no sentido Santarém-Aveiro, ou seja, de norte a sul. NASC – *North American Shale Composite* (Gromet *et al.* 1984), PAAS – *Post Archean Average Shale* (Taylor & McLennan 1981), UCC – *Upper Continental Crust* (Rudnick & Gao 2003) (\*) Dados não disponíveis na publicação original.

	TAP 10 Norte	TAP 31	TAP 36	TAP 56	TAP 67	TAP 80	TAP 101	TAP 87 Sul	Média	NASC	PAAS	UCC
<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	98,9	98	98	93,6	97,9	83	63,6	77,8	88,85	64,8	62,8	66,6
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,27	0,23	0,14	3,51	1,18	7,93	16,85	9,98	5,01	16,9	18,9	15,4
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,1	0,18	0,05	0,74	0,33	1,86	4,12	2,17	1,19	*	*	5,04
<b>CaO</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,07	0,1	0,22	0,06	3,3	1,3	3,49
<b>MgO</b>	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,11	0,26	0,2	0,15	2,85	2,2	2,48
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01	0,1	0,1	0,13	0,05	1,008	1,2	3,27
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,01	0,01	0,02	0,17	0,06	0,73	1,08	0,94	0,38	3,8	3,7	2,8
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,03	0,03	0,04	0,23	0,11	0,41	0,68	0,57	0,26	0,78	1	0,64
<b>MnO</b>	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,03	0,08	0,04	0,03	0,06	0,11	0,1
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,07	0,14	0,08	0,05	0,11	0,16	0,15
<b>PF</b>	0,62	0,57	0,62	2,99	1,14	6,49	13,3	8,63	4,30	*	6	*
<b>Total</b>	99,97	99,07	98,92	101,33	100,77	100,83	100,37	100,79	100,26	*	99,9	*

(continuação)

	TAP 10 Norte	TAP 31	TAP 36	TAP 56	TAP 67	TAP 80	TAP 101	TAP 87 Sul	Média	NASC	PAA S	UC C
<i>C</i>	0,05	0,04	0,04	0,39	0,09	0,82	2,31	1,4	0,64	*	*	*
<i>S</i>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	*	*	*
<i>As (ppm)</i>	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,7	1,4	0,6	0,50	*	*	*
<i>Ba</i>	13,2	17,4	24,4	69,9	66,8	265	418	354	153,5 9	*	*	*
<i>Bi</i>	0,01	0,01	<0,01	0,05	0,02	0,12	0,23	0,12	0,08	*	*	*
<i>Co</i>	2	<1	1	4	2	7	15	10	5,86	25,7	23	17,3
<i>Cr</i>	10	10	<10	20	10	20	50	40	22,86	124,5	110	92
<i>Cs</i>	0,13	0,1	0,08	0,99	0,35	2,19	4,34	2,92	1,39	5,16	15	4,9
<i>Cu</i>	1	2	<1	3	1	6	11	9	4,71	*	50	28
<i>Ga</i>	0,7	0,6	0,5	6,2	2,2	12,8	26,2	15,3	8,06	*		
<i>Hf</i>	1,4	1	0,8	10,2	5,3	12,6	14,1	15,9	7,66	6,3	5	5,3
<i>Hg</i>	<0,005	0,006	<0,005	0,042	0,024	0,087	0,152	0,085	0,07	*	*	*
<i>In</i>	<0,005	<0,005	<0,005	0,008	<0,005	0,021	0,034	0,022	0,02	*	*	*
<i>Li</i>	10	10	10	<10	<10	<10	10	<10	10,00	*	*	*
<i>Mo</i>	1	1	1	<1	<1	<1	<1	<1	1,00	*	*	*
<i>Nb</i>	1,2	1,1	1,9	7	3,6	11,9	21,1	16,4	8,03	*	19	12
<i>Ni</i>	3	3	2	3	1	8	16	10	5,75	58	55	47
<i>Pb</i>	<2	2	3	7	5	16	30	21	12,00	*	20	17
<i>Rb</i>	1	0,7	0,7	11,9	4,3	38,4	67,2	49,5	21,71	125	160	84
<i>Sb</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,1	0,05	0,07	*	*	*
<i>Sc</i>	<1	<1	<1	3	1	5	10	7	5,20	14,9	16	14
<i>Se</i>	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	0,6	<0,2	0,50	*	*	*
<i>Sn</i>	1	1	1	1	2	2	3	2	1,63	*	*	*
<i>Sr</i>	1,2	2,1	2,3	7,2	4,6	24,7	40,4	36,4	14,86	142	200	320
<i>Ta</i>	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	0,1	0,7	1,4	1	0,70	1,12	*	0,9
<i>Te</i>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02	<0,01	0,02	*	*	*
<i>Th</i>	1,17	1,07	1,02	5,38	2,91	9,26	17,25	12,45	6,31	12,3	14,6	10,5
<i>Tl</i>	<0,02	<0,02	<0,02	0,06	0,02	0,11	0,21	0,14	0,11	*	*	*
<i>U</i>	0,32	0,27	0,31	1,53	0,77	2,68	4,39	3,28	1,69	2,66	3,1	2,7
<i>V</i>	7	5	<5	16	8	30	62	38	23,71	*	150	97
<i>W</i>	1	1	2	2	2	2	3	3	2,00	*	*	*
<i>Y</i>	2,5	1,9	1,6	13,2	6,2	19,1	34	28	13,31	*	27	21
<i>Zn</i>	4	3	<2	19	6	35	69	48	26,29	*	85	67
<i>Zr</i>	50	37	39	454	224	509	562	655	316,2 5	200	210	193
<i>La</i>	4,6	4,2	4,1	16	7,9	28,6	58,1	42,9	20,80	31,1	38	31
<i>Ce</i>	8,6	7,8	7,6	31,1	15,3	56,7	113	87,1	40,90	67,03 3	80	63
<i>Pr</i>	0,98	0,79	0,84	3,4	1,55	6,16	12,55	9,58	4,48	*	8,9	7,1
<i>Nd</i>	3,5	2,5	2,7	12,4	5,7	22,9	44,1	36	16,23	30,4	32	27
<i>Sm</i>	0,63	0,51	0,58	2,3	1,08	3,76	7,53	6,08	2,81	5,98	5,6	4,7
<i>Eu</i>	0,1	0,09	0,1	0,4	0,17	0,83	1,35	1,15	0,52	1,253	1,1	1
<i>Gd</i>	0,52	0,32	0,35	1,8	0,96	3,16	6,4	5,02	2,32	5,5	4,7	4
<i>ETRL</i>	18,93	16,21	16,27	67,4	32,66	122,11	243,03	187,83	88,06	*	*	*
<i>Tb</i>	0,07	0,05	0,06	0,31	0,16	0,51	1,07	0,79	0,38	0,85	0,77	0,7
<i>Dy</i>	0,49	0,31	0,35	2,06	1,01	3,24	5,98	4,53	2,25	5,54	4,4	3,9
<i>Ho</i>	0,08	0,07	0,05	0,5	0,21	0,68	1,26	0,97	0,48	*	1	0,83
<i>Er</i>	0,32	0,17	0,18	1,75	0,67	1,98	3,95	3,17	1,52	3,275	2,9	2,3
<i>Tm</i>	0,08	0,05	0,03	0,28	0,15	0,35	0,54	0,45	0,24	*	0,4	0,3
<i>Yb</i>	0,27	0,29	0,18	1,73	0,95	2,25	3,98	2,94	1,57	3,113	2,8	2
<i>Lu</i>	0,05	0,03	0,04	0,3	0,14	0,4	0,62	0,48	0,26	0,456	0,43	0,31
<i>ETRP</i>	1,36	0,97	0,89	6,93	3,29	9,41	17,4	13,33	6,70	*	*	*
$\Sigma$ ETR	20,29	17,18	17,16	74,33	35,95	131,52	260,43	201,16	94,75	*	*	*
<i>ETRL/ETRP</i>	13,92	16,71	18,28	9,73	9,93	12,98	13,97	14,09	13,70	*	*	*

A composição química dos sedimentos de interface água-sedimento no Tapajós normalizada às rochas sedimentares NASC e PAAS, bem como a Crosta Continental Superior (UCC), mostram que os mesmos estão empobrecidos nos metais alcalinos e alcalinos terrosos, enquanto  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  tendem a se equivaler aquelas rochas. Observa-se, no entanto, que há um nítido enriquecimento relativo de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  entre as amostras em direção ao sul do lago, ou seja, a região de Aveiro. Este fato é também observado entre os alcalinos e alcalinos terrosos, sendo bem claro para  $\text{CaO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . Por sua vez é nítido a empobrecimento relativo de  $\text{SiO}_2$ . Isto retrata muito bem a presença e o aumento de illita e muscovita nesta região, e a menor abundância de quartzo. Portanto nessa região os sedimentos de fundo parecem receber contribuição de rochas de natureza granitoide parcialmente intemperizada e/ou de rochas sedimentares portadoras destes minerais, que tiveram como fonte os granitoides intemperizados (Figuras 26, 29 e 32 A).

Quanto aos elementos traços analisados também normalizados aos NASC, PAAS e Crosta Continental Superior (UCC) verifica-se também forte enriquecimento para Hf, Ta, Th, U e Zr para as amostras de sedimentos de interface água-sedimento na região de Aveiro, ao sul do lago, com gradual aumento de norte a sul, coincidindo com o maior domínio de illita e muscovita e menor expressão do quartzo, que retrata as variações de abundância de zircão e/ou o aumento da fração fina dos sedimentos (Figuras 27, 30 e 33 B). Os elementos terras raras não mostram qualquer aumento relativo entre eles, porém o enriquecimento relativo entre amostras é forte, e claramente ocorre na região de Aveiro, ao sul do lago, seguindo os teores de Hf, Ta, Th, U e Zr, provavelmente sediados na estrutura do zircão (Figuras 28, 31 e 34 A).

## 6.2 DOS SEDIMENTOS DOS PERFIS

Ao contrário das amostras de interface, os sedimentos dos perfis apresentam valores de  $\text{SiO}_2$  bem mais baixos, variando de 43,7 a 77,5%, no entanto também a grande variação. Similarmente aos de interface, a diminuição dos teores de  $\text{SiO}_2$  ocorre com o aumento intenso daqueles de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 9,9 a 28 %, de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de 2,70 a 7,24%, de  $\text{TiO}_2$  0,70 a 0,90 %,  $\text{CaO}$  de 0,08 a 0,75 %, de  $\text{MgO}$  de 0,20 a 0,45 %, de  $\text{K}_2\text{O}$  de 1,18 a 1,30 % e  $\text{P}_2\text{O}_5$  de 0,05 a 0,24 %. Os valores de PF variaram de 12,15 a 19,40%. Todas as faixas de variação desses elementos e

PF são maiores do que aquelas nos sedimentos de interface, porém a variação de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$  é muito estreita (Tabela 5). Chama atenção os valores relativamente mais elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ . A composição química e sua variação, da mesma forma que nos sedimentos de interface, também retrata a composição mineralógica dominada por quartzo, mas também pela presença e variação nas proporções dos minerais de argila de caulinita, illita e muscovita e ainda esmectita, goethita, anatásio e gibbsita, influenciada pela granulometria.

Analisando cada perfil individualmente constata-se que o perfil TP 103 no extremo sul do lago é quimicamente (com base na variação dos teores) estratificado e cíclico (Tabela 6, Figuras 23 A e B), fato que não foi claramente detectado pelas análises granulométricas e nem mineralógicas. São quatro zonas de baixa sílica e quatro de alta sílica. Estas características são fortemente evidenciadas pelas alternâncias dos valores mais altos e mais baixos de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , C e de PF, em que os de  $\text{SiO}_2$  embora oscilantes diminuem da base para o topo, enquanto que os de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , PF e C da mesma forma oscilante, aumentam, sempre em antagonismo à sílica. Vale ressaltar que os teores  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são relativamente mais elevados no topo deste perfil. Portanto o antagonismo entre  $\text{SiO}_2$  e os demais elementos, já observado nos sedimentos de interface, persiste. Por sua vez os teores de  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , estão em valores muito baixos (<0,3%, exceto  $\text{CaO}$  na zona mais superficial, onde alcançam valores altos relativamente), e independem da estratificação.  $\text{K}_2\text{O}$  apresenta valores significativos da ordem de 1,2% que não espelham a estratificação. Parece refletir a presença constante de illita. As concentrações dos elementos traço também obedecem a alternância acima mencionada, com valores mais elevados nas zonas de baixa sílica, exceto para Zr, Hf e Y que estão nas de alta sílica.

Já o perfil TP 111 na zona central do lago Tapajós não apresenta estratificação química, com composição praticamente homogênea em toda sua extensão (tabela 7, figura 24 A e B), em que os teores de  $\text{SiO}_2$  são mais baixos do que do perfil TP 103, na ordem de 54 % em média, mas se aproximando a composição das amostras dos sedimentos do topo do TP 103. Por outro lado, os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são mais elevados, porém homogêneos, na ordem de 21 %, da mesma forma de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  da ordem de 4%. Os teores de álcalis, são baixos, na mesma ordem de grandeza do TP 103, e como este com pouca variação, bem como de  $\text{TiO}_2$  que se equivalem ao perfil TP 103 na ordem de 0,80 %, igualmente se comportam os valores de  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Os valores de C também não variam, e estão na ordem 3%, bem mais

elevados do que em TP 103, enquanto os teores de S são também muito baixos e não mostram variação. Os valores de  $K_2O$  se equivalem aos do perfil 103, da ordem de 1,1%, e não variam também. Portanto em termos de elementos maiores os sedimentos do perfil da zona central se destacam pela ausência de estratificação química, ou seja, são homogêneos em termos químico-composicionais, com valores mais baixos de  $SiO_2$  e mais altos de  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$ , bem como C e PF, se comparados com o perfil ao sul do lago. Essa composição química reflete o domínio de caulinita, com menor proporção de quartzo e minerais de ferro mais abundantes relativo ao perfil TP 103 ao sul. Da mesma o conteúdo de elementos-traço praticamente é constante, com exceção do Se, os quais estão em nível crustal ou mesmo abaixo deste, exceto para Al, Ti, Cr, Nb, Pb, Ta, Th, U, Y, Zn, Zr e ETR. Portanto os sedimentos do perfil do furo TP 111 tiveram uma fonte comum e homogênea quimicamente.

No perfil de TP 118 ao norte do lago foi possível ainda identificar duas zonas químicas, influenciadas pela granulometria (Tabela 8, Figura 25 A e B), indicadas principalmente pelos teores de  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$ , que persistem em antagonismo: os valores mais baixos de  $SiO_2$  no topo e os de  $Al_2O_3$  no restante do perfil. As amostras deste perfil atingem os menores teores de  $SiO_2$  e os mais elevados de  $Al_2O_3$  e de PF em relação aos perfis TP 103 e TP 111; os de CaO são relativamente baixos comparados aos dois perfis anteriores, enquanto os de MgO mais altos, e os  $TiO_2$ ,  $K_2O$  e  $Fe_2O_3$  se equivalem aos valores dos perfis anteriores. A camada mais espessa, de 24 a 92 cm de profundidade se caracteriza pelos valores de  $SiO_2$  mais altos (46,5 a 48 %) e de  $Al_2O_3$  mais baixos (24 a 25 %) e a superior menos espessa, de 2 a 16 cm de profundidade, os valores de  $SiO_2$  são baixos (43,7 a 44,9%) e os de  $Al_2O_3$ , mais altos (28 %). Em termos de valores destes dois componentes químicos, essas duas zonas não encontram similaridades aos demais perfis e nem dos sedimentos de interface. Os demais elementos químicos maiores não apresentam contrastes expressivos. Isto confirma a granulometria com proporção maior da fração argila na camada superior (2 a 16 cm) e principalmente sua constituição mineralógica, dominada pelos minerais de argila (caulinita, illita e muscovita), com aparente ausência de esmectita. O perfil 118 ao norte do lago, parece ter tido como fonte materiais de baixa sílica e alta alumina, que nos últimos tempos se empobreceu de  $SiO_2$  e se enriqueceu em  $Al_2O_3$ , e mesmo MgO, portanto recebeu mais minerais de argila, do tipo caulinita, provavelmente, em parte esmectita/illita, e menos quartzo. E isto parece acontecer a partir do centro do lago.

Nos três perfis de sedimentos investigados é surpreendente a constância dos teores de  $K_2O$  e  $TiO_2$ , respectivamente, na ordem de 1,20 e 0,80%, e em parte de  $Fe_2O_3$ .

Tabela 5 - Composição química total do perfil TP 103, ao sul do lago Tapajós. Baixa sílica (1); alta sílica (2).

<b>Perfil Sul</b>	<b><sup>1</sup>TP 103 (2 - 4)</b>	<b><sup>1</sup>TP 103 (4 - 6)</b>	<b><sup>2</sup>TP 103 (10 - 12)</b>	<b><sup>1</sup>TP 103 (18 - 20)</b>	<b><sup>2</sup>TP 103 (28 - 30)</b>	<b><sup>2</sup>TP 103 (38 - 40)</b>	<b><sup>1</sup>TP 103 (48 - 50)</b>	<b><sup>2</sup>TP 103 (58 - 60)</b>	<b><sup>1</sup>TP 103 (68 - 70)</b>	<b><sup>2</sup>TP 103 (72 - 74)</b>	<b>Média alta sílica</b>	<b>Média baixa sílica</b>	<b>NASC</b>	<b>PAAS</b>	<b>UCC</b>
<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	54.5	58.6	70.1	62.7	74.2	77.5	63.7	67.7	62.8	70.2	71.94	60.46	64.8	62.8	66.6
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	21.4	18.25	12.75	16.15	10.25	9.9	16	14.5	16.9	13.1	12.10	17.74	16.9	18.9	15.4
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5.48	4.71	3.44	3.49	2.7	2.32	3.12	2.82	3.29	2.77	2.81	4.02	*	*	5.04
<b>CaO</b>	0.75	0.65	0.17	0.17	0.15	0.14	0.16	0.15	0.16	0.14	0.15	0.38	3.3	1.3	3.49
<b>MgO</b>	0.32	0.3	0.25	0.32	0.21	0.2	0.3	0.28	0.33	0.26	0.24	0.31	2.85	2.2	2.48
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.07	0.1	0.12	0.11	0.12	0.12	0.1	0.11	0.1	0.11	0.12	0.10	1.008	1.2	3.27
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1.18	1.15	1.16	1.22	1.17	1.2	1.25	1.2	1.21	1.17	1.18	1.20	3.8	3.7	2.8
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.83	0.79	0.72	0.8	0.7	0.71	0.81	0.79	0.82	0.75	0.73	0.81	0.78	1	0.64
<b>MnO</b>	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.06	0.11	0.1
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.14	0.13	0.09	0.1	0.08	0.05	0.08	0.09	0.12	0.09	0.08	0.11	0.11	0.16	0.15
<b>PF</b>	16.5	15.4	12.15	14.45	10.45	9.01	13.65	12.4	13.8	11.4	11.08	14.76	*	6	*
<b>Total</b>	101.31	100.21	101.06	99.6	100.12	101.23	99.25	100.12	99.61	100.08	100.52	100.00	*	99.9	*
<b>C</b>	2.59	2.71	2.21	2.83	1.88	1.72	2.76	2.23	2.77	1.95	2.00	2.73	*	*	*
<b>S</b>	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	*	*	*
<b>As (ppm)</b>	1.1	1	0.9	1.1	0.7	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	0.72	0.96	*	*	*
<b>Ba</b>	454	395	360	355	324	310	319	284	353	335	322.60	375.20	*	*	*
<b>Bi</b>	0.29	0.23	0.15	0.2	0.13	0.12	0.21	0.18	0.19	0.16	0.15	0.22	*	*	*
<b>Co</b>	22	19	16	20	17	12	17	13	16	13	14.20	18.80	25.7	23	17.3
<b>Cr</b>	50	80	70	70	30	30	30	20	30	30	36.00	52.00	124.5	110	92

(continua)

Perfil Sul	1TP 103 (2 - 4)	1TP 103 (4 - 6)	2TP 103 (10 - 12)	1TP 103 (18 - 20)	2TP 103 (28 - 30)	2TP 103 (38 - 40)	1TP 103 (48 - 50)	2TP 103 (58 - 60)	1TP 103 (68 - 70)	2TP 103 (72 - 74)	Média alta sílica	Média baixa sílica	NASC	PAAS	UCC
Cs	5.75	4.36	3.15	3.87	2.58	2.55	3.72	3.12	4.38	3.25	2.93	4.42	5.16	15	4.9
Cu	14	13	10	12	8	8	12	10	12	10	9.20	12.60	*	50	28
Ga	31.6	27.6	19.5	22.4	14.2	12.1	18.8	15	20.1	16.9	15.54	24.10	*		
Hf	11.1	13	18.7	13.3	19.1	18.6	12.7	12.7	12.3	16.5	17.12	12.48	6.3	5	5.3
Hg	0.2	0.17	0.11	0.11	0.08	0.07	0.09	0.09	0.1	0.07	0.08	0.13	*	*	*
In	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	*	*	*
Li	20	20	20	20	10	10	20	20	20	20	16.00	20.00	*	*	*
Mo	1	1	1	<1	<1	<1	<1	<1	*	*	1.00	1.00	*	*	*
Nb	25	21.8	19.4	20.9	18.2	17.6	18.8	16.9	19.6	19.4	18.30	21.22	*	19	12
Ni	19	17	13	16	11	10	17	14	17	13	12.20	17.20	58	55	47
Pb	37	32	27	32	26	26	34	30	33	27	27.20	33.60	*	20	17
Rb	75.1	66.7	55.8	62.1	45.2	44.7	52.4	43.4	54.1	50.3	47.88	62.08	125	160	84
Sb	0.1	0.09	0.08	0.09	0.08	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	*	*	*
Sc	11	10	9	11	8	7	11	10	11	9	8.60	10.80	14.9	16	14
Se	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5	<0.2	0.33	0.42	*	*	*
Sn	4	3	3	3	2	2	2	3	3	3	2.60	3.00	*	*	*
Sr	61.9	53.3	36	37.1	30.4	30.4	31.9	27.9	32.6	32	31.34	43.36	142	200	320
Ta	1.7	1.7	1.6	1.6	1.3	1.2	1.4	1.2	1.4	1.4	1.34	1.56	1.12	*	0.9
Te	0.04	0.01	0.02	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	*	*	*
Th	22.3	17.75	14.5	15.95	12.15	11.65	14.85	12.55	15.95	14.15	13.00	17.36	12.3	14.6	10.5

(continua)

Perfil Sul	1TP 103 (2 - 4)	1TP 103 (4 - 6)	2TP 103 (10 - 12)	1TP 103 (18 - 20)	2TP 103 (28 - 30)	2TP 103 (38 - 40)	1TP 103 (48 - 50)	2TP 103 (58 - 60)	1TP 103 (68 - 70)	2TP 103 (72 - 74)	Média alta sílica	Média baixa sílica	NASC	PAAS	UCC
<b>Tl</b>	0.25	0.25	<b>0.18</b>	0.23	<b>0.18</b>	<b>0.14</b>	0.2	<b>0.21</b>	0.22	<b>0.21</b>	<b>0.18</b>	0.23	*	*	*
<b>U</b>	4.97	4.13	<b>3.6</b>	3.9	<b>3.48</b>	<b>3.31</b>	3.68	<b>3.27</b>	3.94	<b>3.68</b>	<b>3.47</b>	4.12	2.66	3.1	2.7
<b>V</b>	70	68	<b>54</b>	61	<b>39</b>	<b>36</b>	49	<b>34</b>	47	<b>40</b>	<b>40.60</b>	59.00	*	150	97
<b>W</b>	4	2	<b>2</b>	2	<b>2</b>	<b>2</b>	2	<b>2</b>	2	<b>2</b>	<b>2.00</b>	2.40	*	*	*
<b>Y</b>	39.9	35.9	<b>34.3</b>	36.4	<b>32.3</b>	<b>31</b>	34.3	<b>31.3</b>	36.2	<b>34.3</b>	<b>32.64</b>	36.54	*	27	21
<b>Zn</b>	89	88	<b>79</b>	82	<b>65</b>	<b>61</b>	79	<b>73</b>	80	<b>70</b>	<b>69.60</b>	83.60	*	85	67
<b>Zr</b>	418	502	<b>709</b>	503	<b>759</b>	<b>736</b>	499	<b>473</b>	457	<b>645</b>	<b>664.40</b>	475.80	200	210	193
<b>La</b>	76.3	63.1	<b>49.9</b>	58	<b>39.9</b>	<b>38.3</b>	52.2	<b>44.7</b>	54.4	<b>48.9</b>	<b>44.34</b>	60.80	31.1	38	31
<b>Ce</b>	152.5	113.5	<b>93.5</b>	106	<b>85.1</b>	<b>80.7</b>	104	<b>87.6</b>	112	<b>97</b>	<b>88.78</b>	117.60	67.033	80	63
<b>Pr</b>	17	14.25	<b>11.35</b>	13.25	<b>9.41</b>	<b>9.02</b>	11.75	<b>9.9</b>	12.35	<b>10.65</b>	<b>10.07</b>	13.72	*	8.9	7.1
<b>Nd</b>	62.2	53.1	<b>44.4</b>	49.6	<b>33.4</b>	<b>33.3</b>	42.9	<b>35</b>	46.9	<b>37.6</b>	<b>36.74</b>	50.94	30.4	32	27
<b>Sm</b>	10.15	9.07	<b>7.15</b>	8.08	<b>6.85</b>	<b>6.34</b>	8.28	<b>6.43</b>	8.7	<b>6.96</b>	<b>6.75</b>	8.86	5.98	5.6	4.7
<b>Eu</b>	1.91	1.61	<b>1.32</b>	1.51	<b>1.22</b>	<b>0.99</b>	1.43	<b>1.32</b>	1.58	<b>1.42</b>	<b>1.25</b>	1.61	1.253	1.1	1
<b>Gd</b>	7.96	6.98	<b>6.08</b>	7.06	<b>5.49</b>	<b>5.38</b>	6.62	<b>5.79</b>	6.16	<b>6.37</b>	<b>5.82</b>	6.96	5.5	4.7	4
<b>ETRL</b>	328.02	261.61	<b>213.7</b>	243.5	<b>181.37</b>	<b>174.03</b>	227.18	<b>190.74</b>	242.09	<b>208.9</b>	<b>193.75</b>	260.48	*	*	*
<b>Tb</b>	1.34	1.1	<b>0.99</b>	1.1	<b>0.99</b>	<b>0.91</b>	1.07	<b>0.98</b>	1.2	<b>1.1</b>	<b>0.99</b>	1.16	0.85	0.77	0.7
<b>Dy</b>	7.14	6.15	<b>5.58</b>	6.53	<b>5.8</b>	<b>4.9</b>	5.99	<b>5.19</b>	6.64	<b>5.95</b>	<b>5.48</b>	6.49	5.54	4.4	3.9
<b>Ho</b>	1.51	1.31	<b>1.22</b>	1.29	<b>1.21</b>	<b>1.12</b>	1.23	<b>1.2</b>	1.4	<b>1.35</b>	<b>1.22</b>	1.35	*	1	0.83
<b>Er</b>	4.79	3.86	<b>3.83</b>	4	<b>3.43</b>	<b>3.24</b>	3.65	<b>3.35</b>	3.6	<b>3.67</b>	<b>3.50</b>	3.98	3.275	2.9	2.3
<b>Tm</b>	0.66	0.64	<b>0.62</b>	0.65	<b>0.58</b>	<b>0.55</b>	0.57	<b>0.52</b>	0.59	<b>0.56</b>	<b>0.57</b>	0.62	*	0.4	0.3

(continua)

<i>Perfil Sul</i>	1TP 103 (2 - 4)	1TP 103 (4 - 6)	2TP 103 (10 - 12)	1TP 103 (18 - 20)	2TP 103 (28 - 30)	2TP 103 (38 - 40)	1TP 103 (48 - 50)	2TP 103 (58 - 60)	1TP 103 (68 - 70)	2TP 103 (72 - 74)	Média alta sílica	Média baixa sílica	NASC	PAAS	UCC
<i>Yb</i>	4.23	4.19	4.27	4	3.74	3.78	3.95	3.76	4.13	4.24	3.96	4.10	3.113	2.8	2
<i>Lu</i>	0.63	0.61	0.62	0.55	0.66	0.59	0.56	0.62	0.65	0.66	0.63	0.60	0.456	0.43	0.31
<i>ETRP</i>	20.3	17.86	17.13	18.12	16.41	15.09	17.02	15.62	18.21	17.53	16.36	18.30	*	*	*
$\Sigma ETR$	368.62	297.33	247.96	279.74	214.19	204.21	261.22	221.98	278.51	243.96	226.46	297.08	*	*	*
$\Sigma ETRL/\Sigma ETRP$	16.16	14.65	12.48	13.44	11.05	11.53	13.35	12.21	13.29	11.92	11.84	14.18	*	*	*

Tabela 6 - Composição química total do perfil TP 111 na região central do lago Tapajós.

<i>Perfil Central</i>	TP 111 (2 - 4)	TP 111 (4 - 6)	TP 111 (10 - 12)	TP 111 (20 - 22)	TP 111 (28 - 30)	TP 111 (30 - 32)	TP 111 (34 - 36)	TP 111 (42 - 44)	TP 111 (50 - 52)	TP 111 (60 - 62)	TP 111 (66 - 68)	Média	NASC	PAAS	UCC
<i>SiO<sub>2</sub> (%)</i>	53,7	55,8	58,3	59	51,9	51,9	51,9	52,7	54,7	54,8	53,4	54,37	64,8	62,8	66,6
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	21	21,8	22,5	22,1	21,8	21,6	21,9	20,9	22	22,1	20,7	21,67	16,9	18,9	15,4
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	4,48	5,15	4,26	4,39	5,38	5,34	5,21	4,67	4,28	4,43	4,08	4,70	*	*	5,04
<i>CaO</i>	0,13	0,14	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,09	0,09	0,1	0,12	3,3	1,3	3,49
<i>MgO</i>	0,38	0,4	0,42	0,41	0,4	0,4	0,4	0,38	0,41	0,4	0,39	0,40	2,85	2,2	2,48
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	1,008	1,2	3,27
<i>K<sub>2</sub>O</i>	1,21	1,25	1,3	1,26	1,21	1,2	1,21	1,16	1,28	1,24	1,21	1,23	3,8	3,7	2,8

(continua)

<b><i>Perfil Central</i></b>	<b>TP 111 (2 - 4)</b>	<b>TP 111 (4 - 6)</b>	<b>TP 111 (10 - 12)</b>	<b>TP 111 (20 - 22)</b>	<b>TP 111 (28 - 30)</b>	<b>TP 111 (30 - 32)</b>	<b>TP 111 (34 - 36)</b>	<b>TP 111 (42 - 44)</b>	<b>TP 111 (50 - 52)</b>	<b>TP 111 (60 - 62)</b>	<b>TP 111 (66 - 68)</b>	<b>Média</b>	<b>NASC</b>	<b>PAAS</b>	<b>UCC</b>
<b><i>TiO<sub>2</sub></i></b>	0,84	0,86	0,9	0,88	0,84	0,83	0,84	0,8	0,87	0,85	0,83	0,85	0,78	1	0,64
<b><i>MnO</i></b>	0,09	0,09	0,06	0,06	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,07	0,06	0,11	0,1
<b><i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i></b>	0,2	0,19	0,16	0,19	0,23	0,23	0,21	0,16	0,18	0,19	0,16	0,19	0,11	0,16	0,15
<b><i>PF</i></b>	17,25	16,8	17,5	17,3	17,45	17,45	17,6	17,35	17,65	17,35	17,2	17,35	*	6	*
<b><i>Total</i></b>	99,4	102,00	102,00	102,00	99,56	99,29	99,59	98,4	101,63	101,61	98,22	99,71	*	99,9	*
<b><i>C</i></b>	3,07	2,82	3,15	3,06	2,98	2,98	3,19	3,02	3,42	3,13	3,14	3,09	*	*	*
<b><i>S</i></b>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	*	*	*
<b><i>As (ppm)</i></b>	1,1	1,1	1,1	1,1	1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,10	*	*	*
<b><i>Ba</i></b>	401	364	420	423	436	408	411	404	447	430	431	415,91	*	*	*

(continua)

<i>Perfil Central</i>	TP 111 (2 - 4)	TP 111 (4 - 6)	TP 111 (10 - 12)	TP 111 (20 - 22)	TP 111 (28 - 30)	TP 111 (30 - 32)	TP 111 (34 - 36)	TP 111 (42 - 44)	TP 111 (50 - 52)	TP 111 (60 - 62)	TP 111 (66 - 68)	Média	NASC	PAAS	UCC
<i>Bi</i>	0,25	0,25	0,24	0,26	0,28	0,26	0,28	0,26	0,27	0,27	0,26	0,26	*	*	*
<i>Co</i>	17	19	17	19	21	19	20	18	19	17	18	18,55	25,7	23	17,3
<i>Cr</i>	40	30	50	50	50	50	70	50	50	60	50	50,00	124,5	110	92
<i>Cs</i>	5,54	4,79	5,78	5,96	6,08	5,99	5,89	5,92	6,09	5,9	5,98	5,81	5,16	15	4,9
<i>Cu</i>	15	15	15	15	15	15	16	15	15	15	16	15,18	*	50	28
<i>Ga</i>	28,3	24,9	28,2	29	29,2	28,4	30,1	30	32,1	31,4	29,9	29,23	*		
<i>Hf</i>	8,1	7,1	7,8	7,5	7,3	7,3	7,3	7,7	8,4	7,9	7,7	7,65	6,3	5	5,3
<i>Hg</i>	0,13	0,12	0,13	0,13	0,14	0,12	0,13	0,14	0,11	0,13	0,11	0,13	*	*	*
<i>In</i>	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	*	*	*
<i>Li</i>	30	30	30	30	30	40	30	30	30	30	30	30,91	*	*	*
<i>Mo</i>	1	1	1	<1	<1	<1	<1	<1	*	*	*	1,00	*	*	*
<i>Nb</i>	22,5	20	23	22,5	22,7	22,4	22,3	22,6	25,1	24,7	25,7	23,05	*	19	12
<i>Ni</i>	20	20	19	20	21	21	21	20	22	20	20	20,36	58	55	47
<i>Pb</i>	36	36	36	34	36	33	41	40	36	35	40	36,64	*	20	17
<i>Rb</i>	68,8	60,5	68	68,1	69,6	68,8	71	68,8	77	76	73,8	70,04	125	160	84
<i>Sb</i>	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,1	0,11	0,1	0,10	*	*	*
<i>Sc</i>	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13,00	14,9	16	14

(continua)

<i>Perfil Central</i>	TP 111 (2 - 4)	TP 111 (4 - 6)	TP 111 (10 - 12)	TP 111 (20 - 22)	TP 111 (28 - 30)	TP 111 (30 - 32)	TP 111 (34 - 36)	TP 111 (42 - 44)	TP 111 (50 - 52)	TP 111 (60 - 62)	TP 111 (66 - 68)	Média	NASC	PAAS	UCC
<i>Se</i>	0,3	0,3	0,6	<0,2	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5	0,2	0,38	*	*	*
<i>Sn</i>	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3,91	*	*	*
<i>Sr</i>	37,4	33,1	37,3	37	36,7	37	36,2	36,6	41,4	39,2	40,6	37,50	142	200	320
<i>Ta</i>	1,5	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,8	1,7	1,7	1,59	1,12	*	0,9
<i>Te</i>	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	*	*	*
<i>Th</i>	19,5	17,8	20,1	19,5	19,75	21	20,2	20,4	19,85	19,9	19,45	19,77	12,3	14,6	10,5
<i>Tl</i>	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,25	0,26	*	*	*
<i>U</i>	4,1	3,71	4,07	4,13	4,15	4,22	4,2	4,11	4,31	4,38	4,36	4,16	2,66	3,1	2,7
<i>V</i>	66	56	64	67	67	67	66	67	68	69	65	65,64	*	150	97
<i>W</i>	3	2	2	3	3	2	2	3	3	3	4	2,73	*	*	*
<i>Y</i>	40,7	36,5	40,2	41,6	41,4	41,4	41,8	41,2	46,6	45,7	46,3	42,13	*	27	21
<i>Zn</i>	91	91	92	93	95	94	97	93	93	93	96	93,45	*	85	67
<i>Zr</i>	292	248	277	278	258	257	266	265	286	266	269	269,27	200	210	193
<i>La</i>	68,7	63,5	69,2	71,9	71,8	72,7	71,9	71,1	74,5	73,4	73	71,06	31,1	38	31
<i>Ce</i>	136	124	140,5	140,5	140	143,5	139,5	138,5	145	139	140	138,77	67,033	80	63
<i>Pr</i>	15,75	13,95	15,3	16,1	15,95	15,85	16,1	15,75	17,25	17,05	16,9	16,00	*	8,9	7,1
<i>Nd</i>	53,4	51,1	53,7	56,8	57,2	56,2	55,9	56,8	64,1	60,6	60,1	56,90	30,4	32	27

<i>Perfil Central</i>	TP 111 (2 - 4)	TP 111 (4 - 6)	TP 111 (10 - 12)	TP 111 (20 - 22)	TP 111 (28 - 30)	TP 111 (30 - 32)	TP 111 (34 - 36)	TP 111 (42 - 44)	TP 111 (50 - 52)	TP 111 (60 - 62)	TP 111 (66 - 68)	Média	NASC	PAAS	UCC
<i>Sm</i>	11,05	10	10,7	10,15	10,75	10,55	10,8	10,4	10,2	10,65	9,63	10,44	5,98	5,6	4,7
<i>Eu</i>	2,03	1,77	2,02	1,91	1,99	2,06	1,87	1,85	1,94	2,06	1,81	1,94	1,253	1,1	1
<i>Gd</i>	7,99	7,25	8,19	8,63	8,52	8,21	8,69	8,6	9,45	8,76	9,4	8,52	5,5	4,7	4
<i>ETRL</i>	294,92	271,57	299,61	305,99	306,21	309,07	304,76	303	322,44	311,52	310,84	303,63	*	*	*
<i>Tb</i>	1,36	1,19	1,36	1,24	1,48	1,44	1,48	1,48	1,46	1,4	1,35	1,39	0,85	0,77	0,7
<i>Dy</i>	7,35	6,54	7,05	7,37	7,56	7,93	7,22	7,62	8,93	8,06	8,46	7,64	5,54	4,4	3,9
<i>Ho</i>	1,61	1,39	1,6	1,59	1,73	1,64	1,62	1,62	1,75	1,64	1,62	1,62	*	1	0,83
<i>Er</i>	4,11	3,57	4,18	4,21	4,37	4,49	4,44	4,14	4,62	4,19	4,68	4,27	3,275	2,9	2,3
<i>Tm</i>	0,64	0,59	0,64	0,6	0,62	0,66	0,65	0,64	0,73	0,74	0,72	0,66	*	0,4	0,3
<i>Yb</i>	4,29	3,68	4,5	4,01	4,37	4,73	4,54	4,24	4,84	4,67	4,59	4,41	3,113	2,8	2
<i>Lu</i>	0,63	0,56	0,7	0,62	0,64	0,69	0,68	0,68	0,75	0,69	0,67	0,66	0,456	0,43	0,31
<i>ETRP</i>	19,99	17,52	20,03	19,64	20,77	21,58	20,63	20,42	23,08	21,39	22,09	20,65	*	*	*
<i>ΣETR</i>	314,91	289,09	319,64	325,63	326,98	330,65	325,39	323,42	345,52	<b>332,91</b>	<b>332,93</b>	324,28	*	*	*
<i>ΣETRL/ΣETRP</i>	14,75	15,5	14,96	15,58	14,74	14,32	14,77	14,84	13,97	<b>14,56</b>	<b>14,07</b>	14,73	*	*	*

Tabela 7 - Composição química total do perfil TP 118, na região norte do lago Tapajós. Média Baixa sílica (1); alta sílica (2).

<i>Perfil Norte</i>	TP 118 <sup>1</sup>	TP 118 <sup>1</sup>	TP 118 <sup>2</sup>	Média Baixa Sílica <sup>1</sup>	Média Alta Sílica <sup>2</sup>	NASC	PAAS	UCC							
	(2 - 4)	(14 - 16)	(24 - 26)	(30 - 32)	(40 - 42)	(50 - 52)	(62 - 64)	(70 - 72)	(82 - 84)	(90 - 92)					
<i>SiO<sub>2</sub></i> (%)	43,70	44,90	48,00	46,40	47,70	46,70	46,50	46,60	46,60	47,70	44,30	47,03	64,80	62,80	66,60
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	28,00	27,90	24,10	25,10	24,20	24,80	24,50	24,50	24,70	25,10	27,95	24,63	16,90	18,90	15,40
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	7,24	5,52	5,95	6,10	6,27	6,24	6,17	6,09	5,69	5,92	6,38	6,05	*	*	5,04
<i>CaO</i>	0,10	0,08	0,10	0,11	0,09	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,09	0,10	3,30	1,30	3,49
<i>MgO</i>	0,39	0,39	0,43	0,44	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,45	0,39	0,44	2,85	2,20	2,48
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	1,01	1,20	3,27
<i>K<sub>2</sub>O</i>	1,13	1,16	1,15	1,14	1,17	1,18	1,19	1,19	1,21	1,23	1,15	1,18	3,80	3,70	2,80
<i>TiO<sub>2</sub></i>	0,83	0,82	0,80	0,78	0,79	0,80	0,80	0,79	0,81	0,83	0,83	0,80	0,78	1,00	0,64
<i>MnO</i>	0,12	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,10	0,08	0,06	0,11	0,10
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0,21	0,18	0,19	0,21	0,24	0,20	0,21	0,19	0,16	0,20	0,20	0,20	0,11	0,16	0,15
<i>PF</i>	18,50	18,05	19,40	19,05	18,65	19,10	19,05	19,10	18,95	18,70	18,28	19,00	*	6,00	*
<i>Total</i>	100,31	99,18	100,31	99,54	99,74	99,74	99,12	99,16	98,82	100,38	99,75	99,60	*	99,90	*
<i>C</i>	2,38	2,32	3,45	3,19	3,00	3,11	3,21	3,20	3,15	3,09	2,35	3,18	*	*	*
<i>S</i>	0,05	0,06	0,06	0,06	0,10	0,07	0,07	0,05	0,07	0,06	0,06	0,07	*	*	*
<i>As (ppm)</i>	1,70	1,20	1,20	1,10	1,30	1,10	1,10	1,00	0,80	0,90	1,45	1,06	*	*	*
<i>Ba</i>	441,00	441,00	460,00	430,00	352,00	447,00	459,00	385,00	411,00	459,00	441,00	425,38	*	*	*
<i>Bi</i>	0,39	0,38	0,33	0,30	0,31	0,30	0,31	0,31	0,29	0,31	0,39	0,31	*	*	*
<i>Co</i>	20,00	16,00	21,00	22,00	24,00	23,00	24,00	24,00	22,00	21,00	18,00	22,63	25,70	23,00	17,30
<i>Cr</i>	70,00	70,00	60,00	60,00	40,00	60,00	60,00	50,00	50,00	60,00	70,00	55,00	124,50	110,00	92,00

(continuação)

<i>Perfil Norte</i>	TP 118 <sup>1</sup>	TP 118 <sup>1</sup>	TP 118 <sup>2</sup>	Média Baixa Sílica <sup>1</sup>	Média Alta Sílica <sup>2</sup>	NASC	PAAS	UCC							
	(2 - 4)	(14 - 16)	(24 - 26)	(30 - 32)	(40 - 42)	(50 - 52)	(62 - 64)	(70 - 72)	(82 - 84)	(90 - 92)					
<i>Cs</i>	6,73	7,28	6,90	6,60	5,00	6,98	6,97	5,81	6,13	7,00	7,01	6,42	5,16	15,00	4,90
<i>Cu</i>	17,00	17,00	16,00	17,00	17,00	17,00	18,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	*	50,00	28,00
<i>Ga</i>	43,70	43,20	34,30	34,20	28,20	36,30	34,60	31,60	34,70	36,60	43,45	33,81	*	*	*
<i>Hf</i>	5,50	5,50	6,00	5,90	4,40	6,00	5,80	5,10	5,80	6,30	5,50	5,66	6,30	5,00	5,30
<i>Hg</i>	0,24	0,23	0,19	0,19	0,15	0,18	0,17	0,12	0,13	0,14	0,24	0,16	*	*	*
<i>In</i>	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	*	*	*
<i>Li</i>	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	35,00	40,00	*	*	*
<i>Mo</i>	1,00	1,00	1,00	<1	<1	<1	<1	<1	*	*	1,00	1,00	*	*	*
<i>Nb</i>	24,60	23,90	23,00	21,80	17,60	23,20	22,80	19,30	21,70	24,30	24,25	21,71	*	19,00	12,00
<i>Ni</i>	23,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	25,00	24,00	24,00	23,50	24,13	58,00	55,00	47,00
<i>Pb</i>	38,00	39,00	36,00	39,00	41,00	39,00	41,00	37,00	40,00	39,00	38,50	39,00	*	20,00	17,00
<i>Rb</i>	80,40	84,80	77,20	78,00	60,80	79,10	78,90	68,80	77,50	84,40	82,60	75,59	125,00	160,00	84,00
<i>Sb</i>	0,11	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,11	0,10	*	*	*
<i>Sc</i>	14,00	14,00	14,00	15,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,13	14,90	16,00	14,00
<i>Se</i>	0,70	0,50	0,40	0,40	0,40	0,20	0,70	0,50	0,60	0,60	0,60	0,48	*	*	*
<i>Sn</i>	5,00	5,00	5,00	4,00	4,00	4,00	5,00	4,00	4,00	5,00	5,00	4,38	*	*	*
<i>Sr</i>	45,70	43,20	43,10	41,10	31,60	41,50	40,90	34,30	38,30	42,50	44,45	39,16	142,00	200,00	320,00
<i>Ta</i>	1,80	1,70	1,50	1,50	1,20	1,60	1,50	1,40	1,50	1,60	1,75	1,48	1,12	*	0,90

<b>Te</b>	0,05	0,03	0,05	0,03	0,01	0,03	0,03	0,05	0,02	0,02	0,04	0,03	*	*	*
<b>Th</b>	23,60	23,00	21,30	20,60	16,10	22,20	21,10	17,75	20,20	22,20	23,30	20,18	12,30	14,60	10,50
<b>Tl</b>	0,29	0,29	0,28	0,30	0,28	0,29	0,27	0,28	0,27	0,27	0,29	0,28	*	*	*
<b>U</b>	4,41	4,71	4,29	4,03	3,16	4,38	4,20	3,56	3,94	4,40	4,56	4,00	2,66	3,10	2,70
<b>V</b>	85,00	83,00	77,00	75,00	57,00	80,00	78,00	68,00	75,00	83,00	84,00	74,13	*	150,00	97,00
<b>W</b>	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,88	*	*	*
<b>Y</b>	40,80	40,90	46,50	44,70	35,20	46,40	46,60	39,80	44,30	48,10	40,85	43,95	*	27,00	21,00

(continuação)

<i>Perfil Norte</i>	TP 118 <sup>1</sup>	TP 118 <sup>1</sup>	TP 118 <sup>2</sup>	Média Baixa Sílica <sup>1</sup>	Média Alta Sílica <sup>2</sup>	NASC	PAAS	UCC							
	(2 - 4)	(14 - 16)	(24 - 26)	(30 - 32)	(40 - 42)	(50 - 52)	(62 - 64)	(70 - 72)	(82 - 84)	(90 - 92)					
<i>Zn</i>	92,00	93,00	104,00	105,00	101,00	108,00	107,00	107,00	107,00	103,00	92,50	105,25	*	85,00	67,00
<i>Zr</i>	183,00	184,00	196,00	189,00	150,00	195,00	195,00	162,00	186,00	203,00	183,50	184,50	200,00	210,00	193,00
<i>La</i>	81,50	81,50	79,30	74,50	59,40	78,00	79,60	67,50	73,60	79,40	81,50	73,91	31,10	38,00	31,00
<i>CE</i>	150,00	143,00	152,50	143,50	111,00	149,00	154,50	127,50	138,00	150,00	146,50	140,75	67,03	80,00	63,00
<i>PR</i>	17,70	18,50	18,50	17,40	13,70	17,65	18,70	15,45	17,45	18,10	18,10	17,12	*	8,90	7,10
<i>Nd</i>	61,40	62,40	65,30	63,00	48,30	62,80	65,60	54,40	58,20	65,40	61,90	60,38	30,40	32,00	27,00
<i>SM</i>	10,45	9,98	11,00	10,45	7,80	10,80	10,80	9,02	10,40	10,85	10,22	10,14	5,98	5,60	4,70
<i>Eu</i>	1,90	2,08	2,12	2,02	1,56	2,19	2,15	1,71	2,02	2,11	1,99	1,99	1,25	1,10	1,00
<i>Gd</i>	8,32	9,07	9,86	9,72	7,09	9,52	9,82	7,99	9,22	9,69	8,70	9,11	5,50	4,70	4,00
<i>ETRL</i>	331,27	326,53	338,58	320,59	248,85	329,96	341,17	283,57	308,89	335,55	328,90	313,40	*	*	*
<i>Tb</i>	1,34	1,46	1,51	1,51	1,08	1,55	1,56	1,25	1,35	1,56	1,40	1,42	0,85	0,77	0,70
<i>Dy</i>	7,59	7,97	8,86	8,33	6,66	8,38	8,39	7,28	8,16	9,15	7,78	8,15	5,54	4,40	3,90
<i>Ho</i>	1,38	1,48	1,61	1,63	1,30	1,61	1,60	1,36	1,53	1,72	1,43	1,55	*	1,00	0,83
<i>Er</i>	4,04	4,09	4,68	4,50	3,67	4,53	4,60	3,89	4,34	4,82	4,07	4,38	3,28	2,90	2,30
<i>Tm</i>	0,62	0,66	0,71	0,73	0,55	0,79	0,69	0,66	0,65	0,73	0,64	0,69	*	0,40	0,30
<i>Yb</i>	4,07	4,27	4,69	4,24	3,37	4,98	4,50	3,97	4,41	4,42	4,17	4,32	3113,00	2,80	2,00
<i>Lu</i>	0,66	0,63	0,75	0,67	0,57	0,76	0,70	0,64	0,73	0,72	0,65	0,69	0,46	0,43	0,31
<i>ETRP</i>	19,70	20,56	22,81	21,61	17,20	22,60	22,04	19,05	21,17	23,12	20,13	21,20	*	*	*
<i>ΣETR</i>	350,97	347,09	361,39	342,20	266,05	352,56	363,21	302,62	330,06	358,67	349,03	334,60	*	*	*
<i>ΣETRL/ΣETR</i>	16,82	15,88	14,84	14,84	14,47	14,60	15,48	14,89	14,59	14,51	16,35	14,78	*	*	*

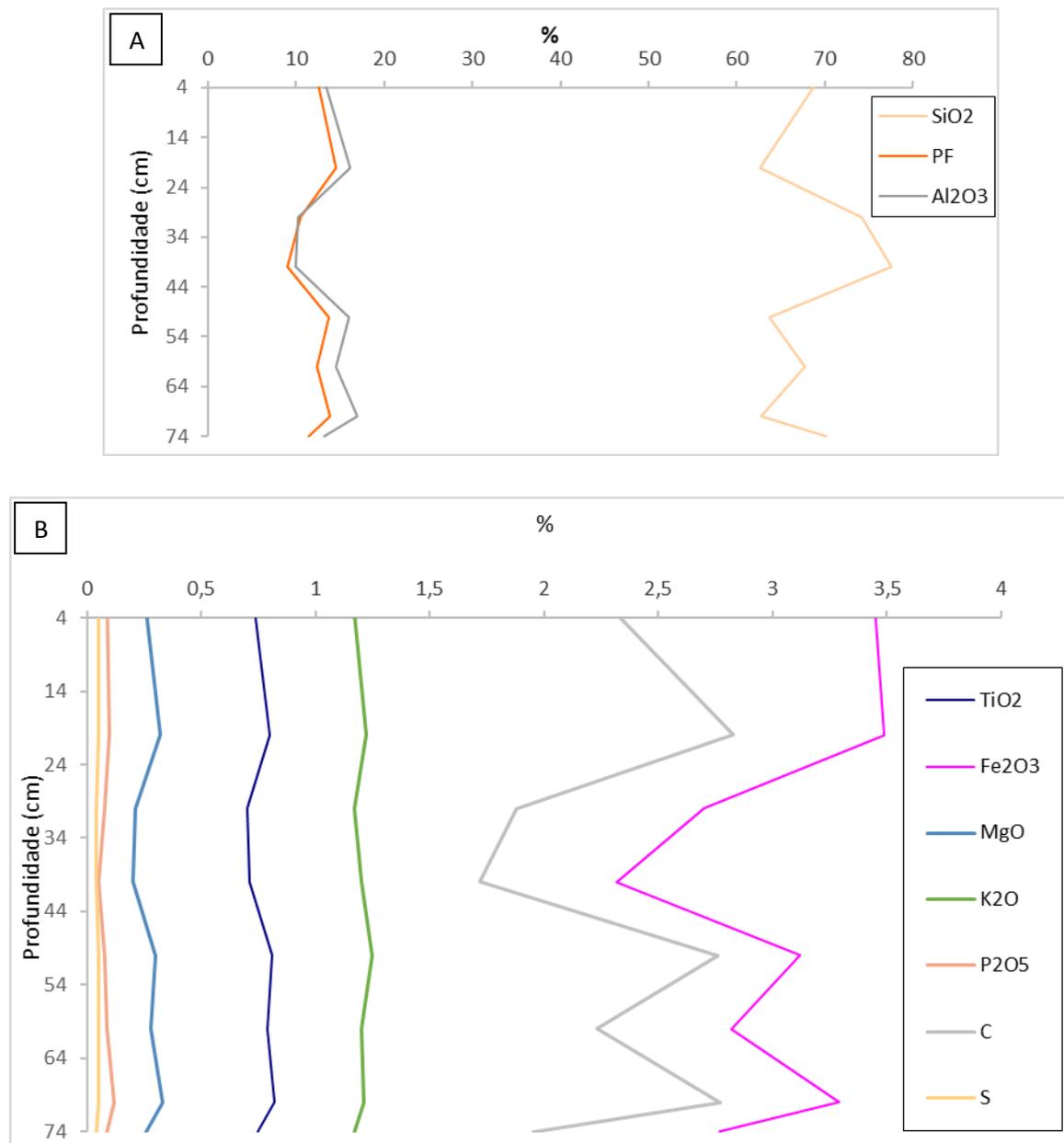


Figura 23 - Distribuição das concentrações química ao longo da profundidade do Perfil TP 103, A) SiO<sub>2</sub>, PF e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B) TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, C, S.

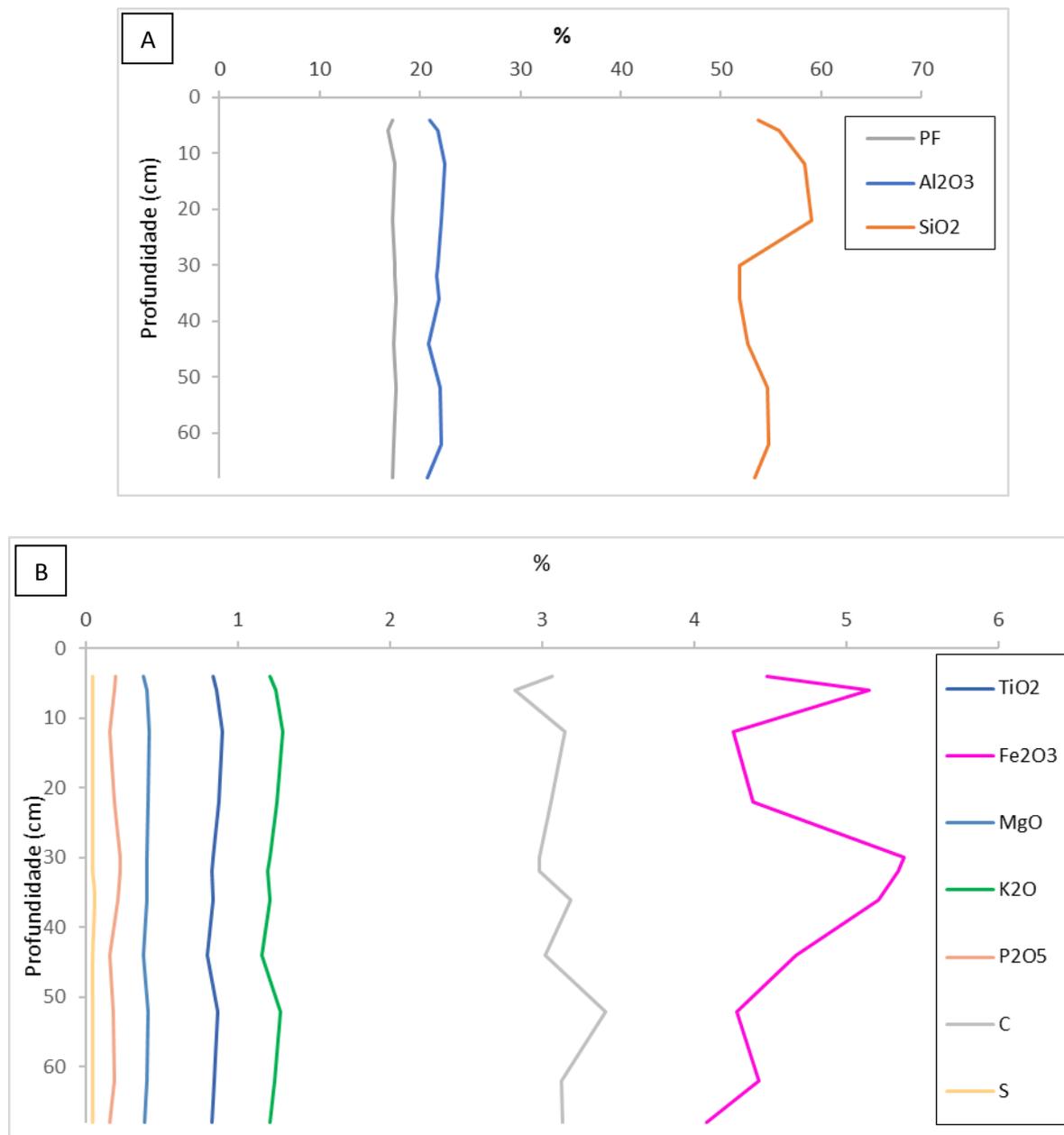


Figura 24 - Distribuição das concentrações química ao longo da profundidade do Perfil TP 111, A) SiO<sub>2</sub>, PF e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B) TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, C, S.

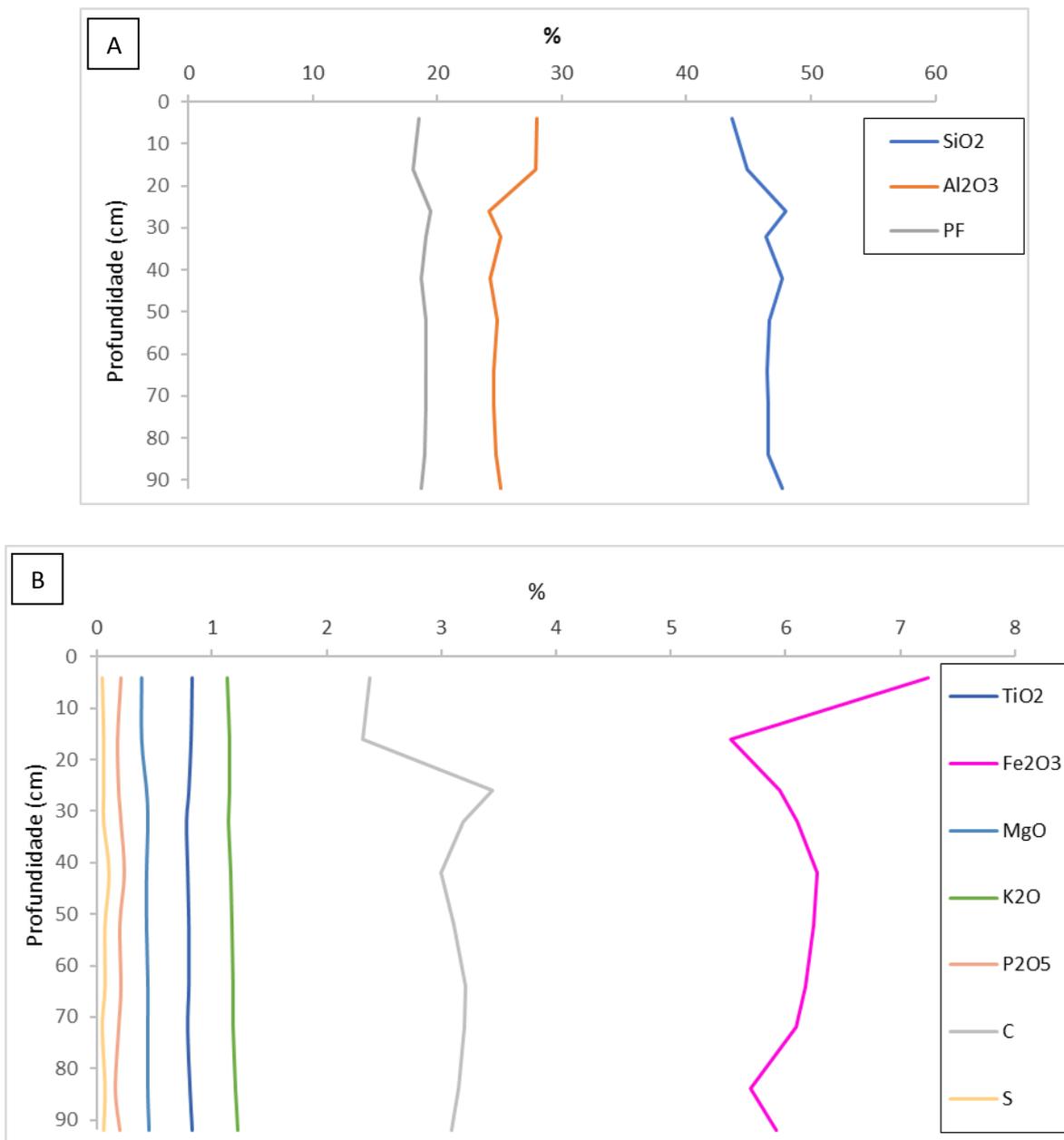


Figura 25 - Distribuição das concentrações química ao longo da profundidade do Perfil TP 118, A) SiO<sub>2</sub>, PF e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B) TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, C, S.

As concentrações das amostras de interface água-sedimento e os três perfis TP 103, 111 e 118 foram normalizados de acordo com NASC, PAAS e UCC, para os elementos maiores, traços e ETR. No caso da normalização relativa a NASC, em geral, as amostras estão empobrecidas em CaO, MgO e K<sub>2</sub>O. Quanto a SiO<sub>2</sub>, ela está levemente enriquecida nos sedimentos de interface e do perfil TP 103 (figura 26 A e B), nos perfis TP 111 e 118 (Figura 26 C e D). Por sua vez TiO<sub>2</sub> não variou relativo a NASC, e MnO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> estão

enriquecidos nas amostras de interface e o perfil TP 103 e empobrecidos nos perfis TP 111 e 118.

Em relação aos elementos traços, normalizados a NASC, observa-se que assim como nos elementos maiores, as amostras de interface e o perfil TP 103 (Figura 27 A e B) são mais semelhantes entre si, assim como os perfis TP 111 e 118 (Figura 27 C e D) se parecem, de maneira inversa aos anteriores. Sendo assim, nas amostras de interface e TP 103 apenas Hf e Zr enriquecidos, para as amostras de interface, claramente aumentam em direção as amostras a sul (Aveiro), da mesma forma para o perfil 111. Hf e Zr, assim como Cs, Sc, Ta, Th, e U também estão próximos ou acima de praticamente não divergem de NASC, tanto para o perfil TP 111 e 118.

Os elementos terras raras se comportam tanto por enriquecidos como empobrecidos em todos os perfis TP 103, 111 e 118 (Figura 28 B, C e D) relativos a NASC, da mesma forma que os sedimentos de interface (Figura 28 A).

Em relação ao PAAS, os elementos analisados também se comportam igualmente a NASC, com algumas divergências, como  $P_2O_5$  nas amostras de interface (Figura 29 A), MnO nos perfis TP 111 e 118 empobrecidos (Figura 29 C e D).

Os elementos traço incluindo ETR normalizados ao PAAS também apresentam comportamento similar a NASC, com algumas variações. Hf e Zr se enriquecem (Figuras 30 e 31 A, B, C e D).

Os dados químicos normalizados a UCC também se assemelham aqueles obtidos perante a NASC e PAAS (Figuras 32, 33 e 34 – A, B, C e D).

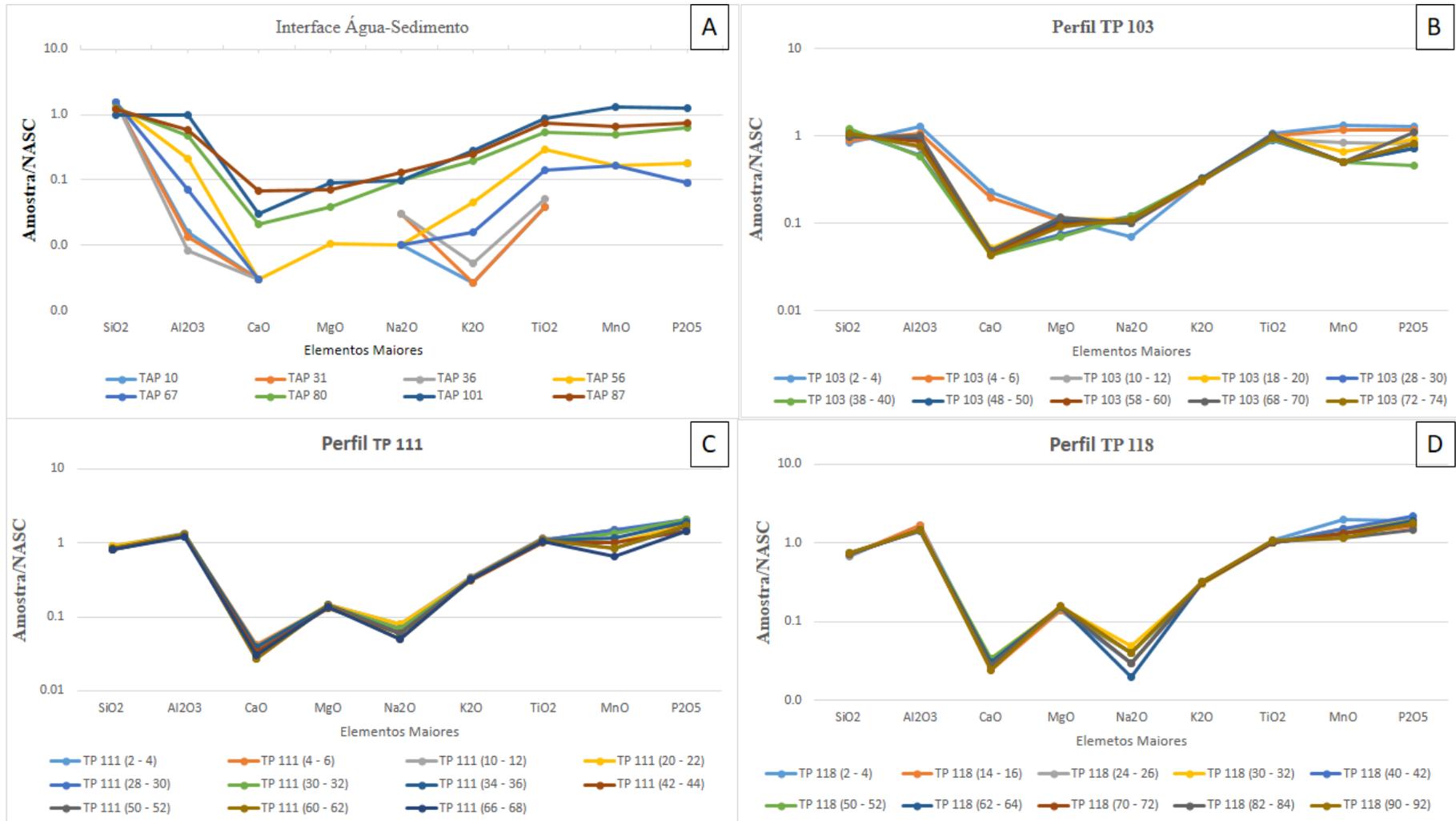


Figura 26 - Normalização dos elementos maiores das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo NASC – North American Shale Composite (Gromet et al. 1984).

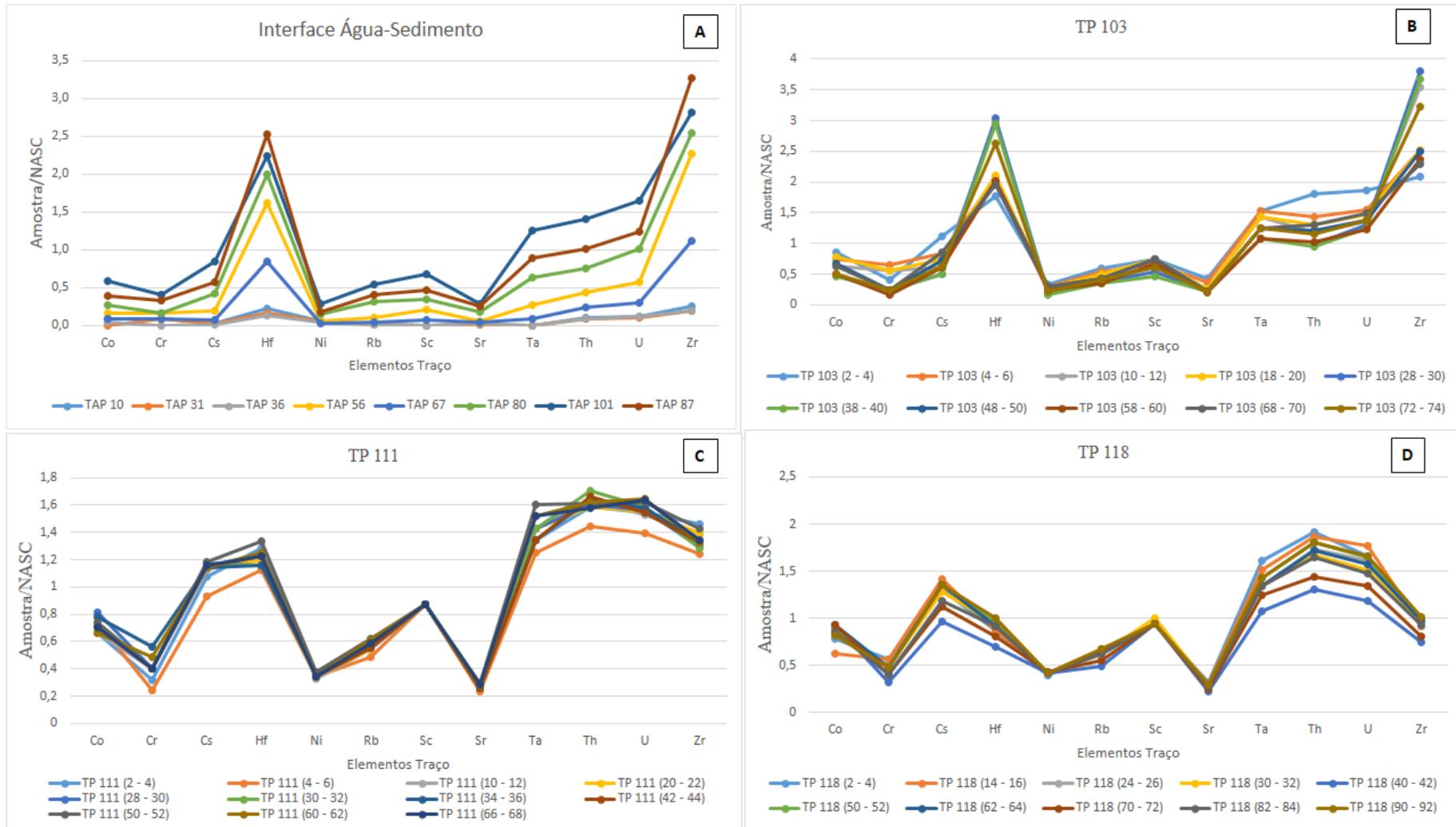


Figura 27 - Normalização dos elementos traço das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo NASC – North American Shale Composite (Gromet et al. 1984).

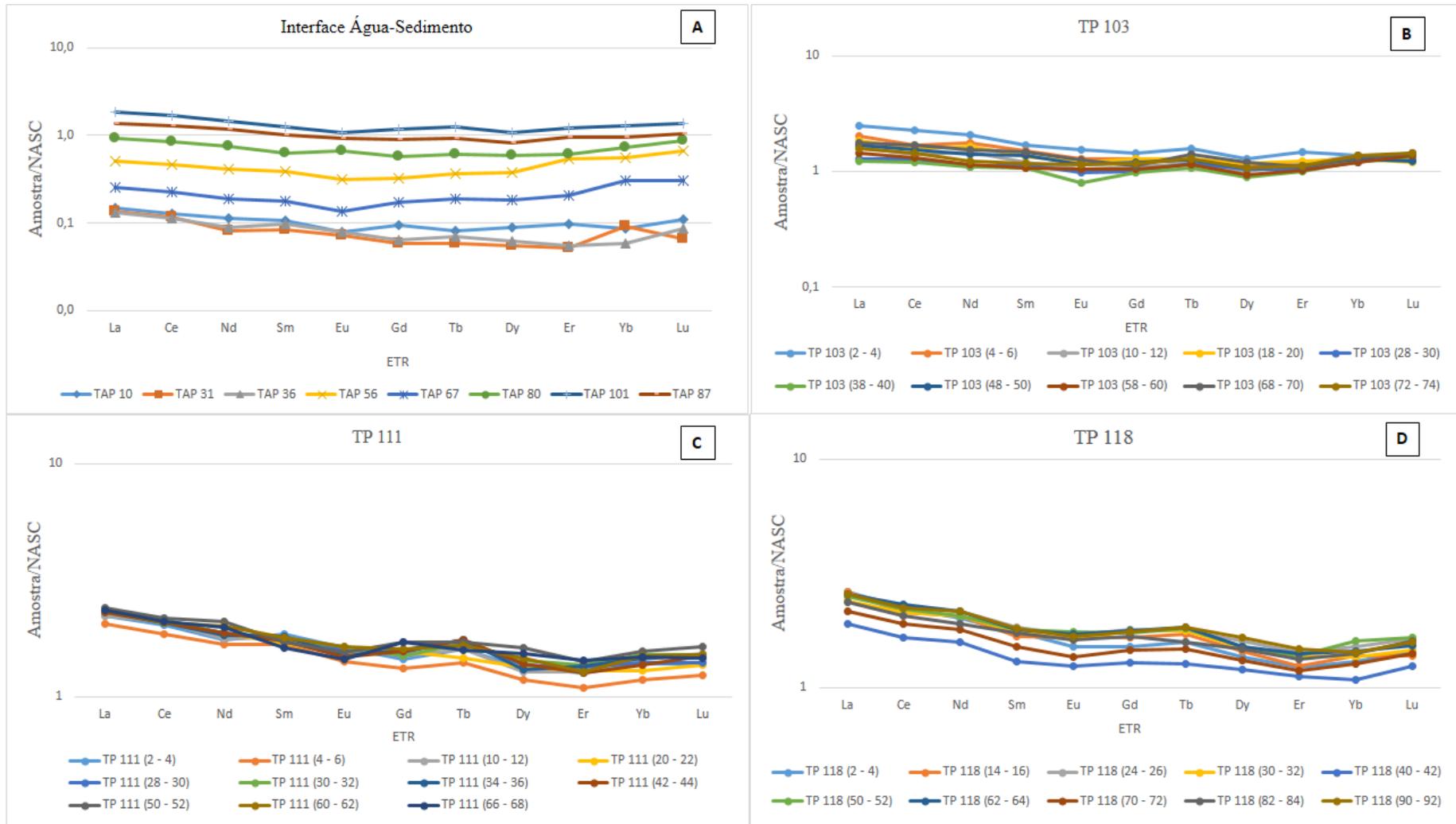


Figura 28 - Normalização dos elementos traço das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo NASC – *North American Shale Composite* (Gromet *et al.* 1984).

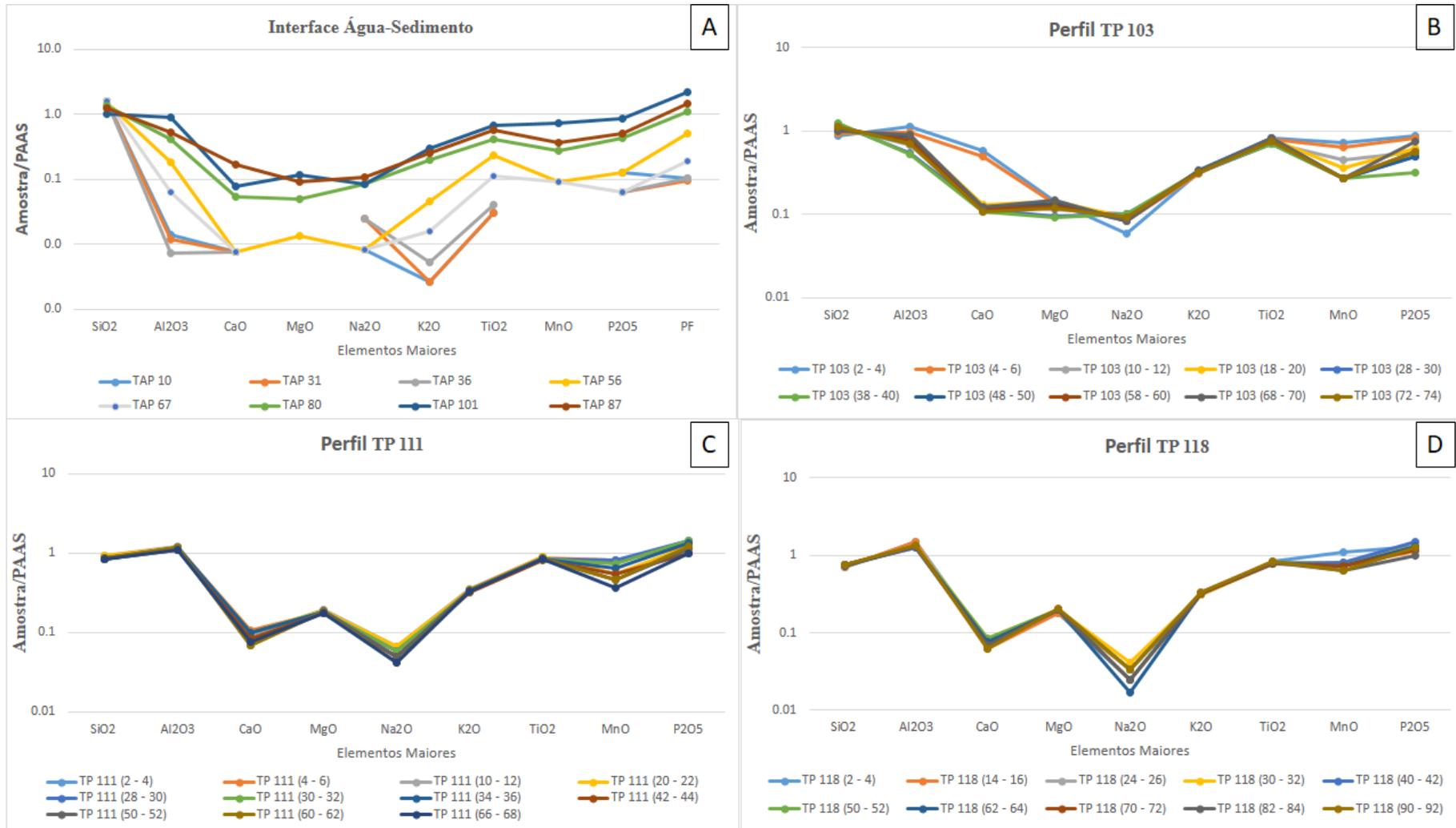


Figura 29 - Normalização dos elementos traço das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo PAAS – *Post Archean Average Shale* (Taylor & McLennan 1981).

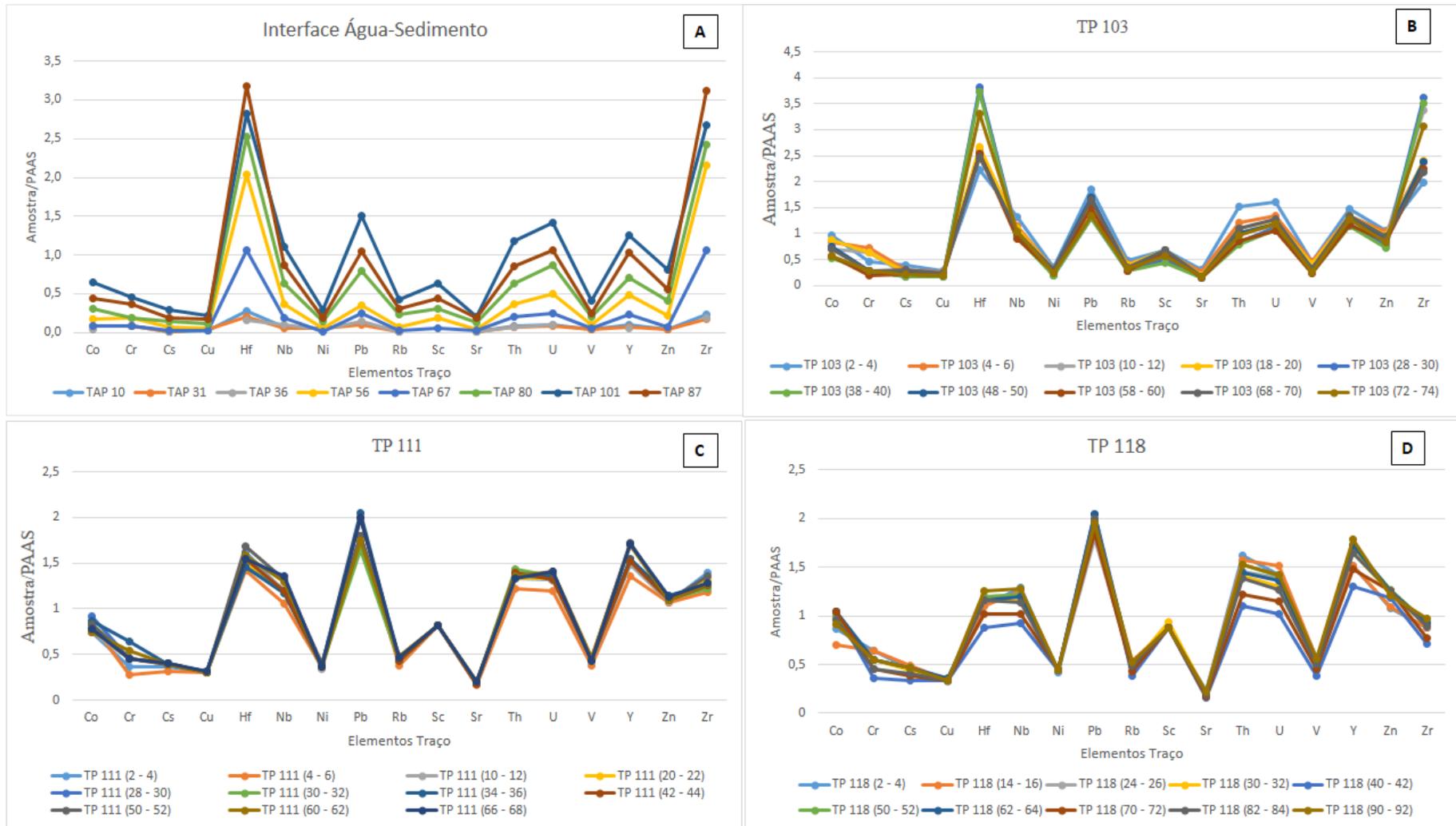


Figura 30 - Normalização dos elementos traço das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo PAAS – *Post Archean Average Shale* (Taylor & McLennan 1981).

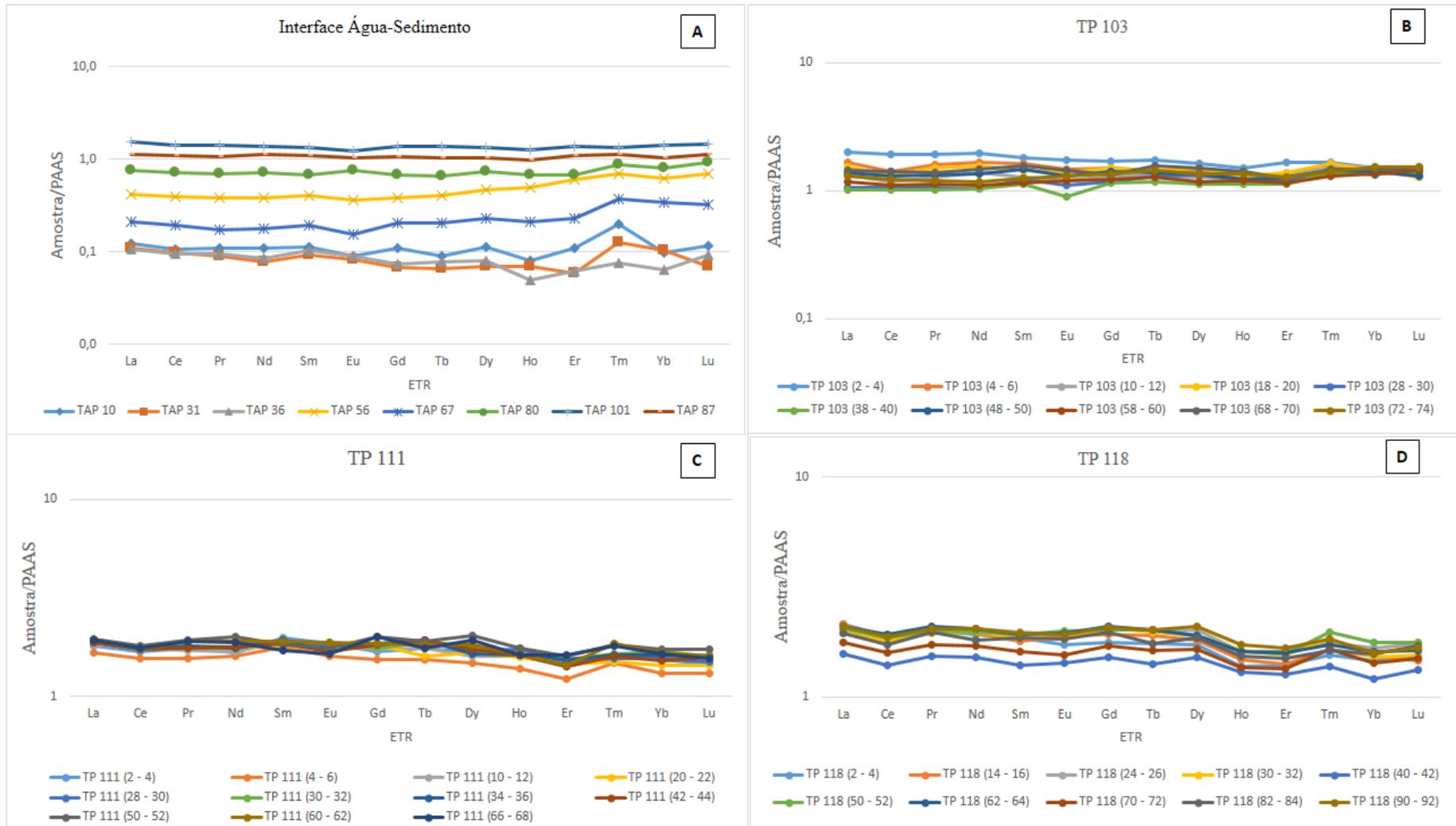


Figura 31 - Normalização dos elementos terras raras das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo PAAS – *Post Archean Average Shale* (Taylor & McLennan 1981).

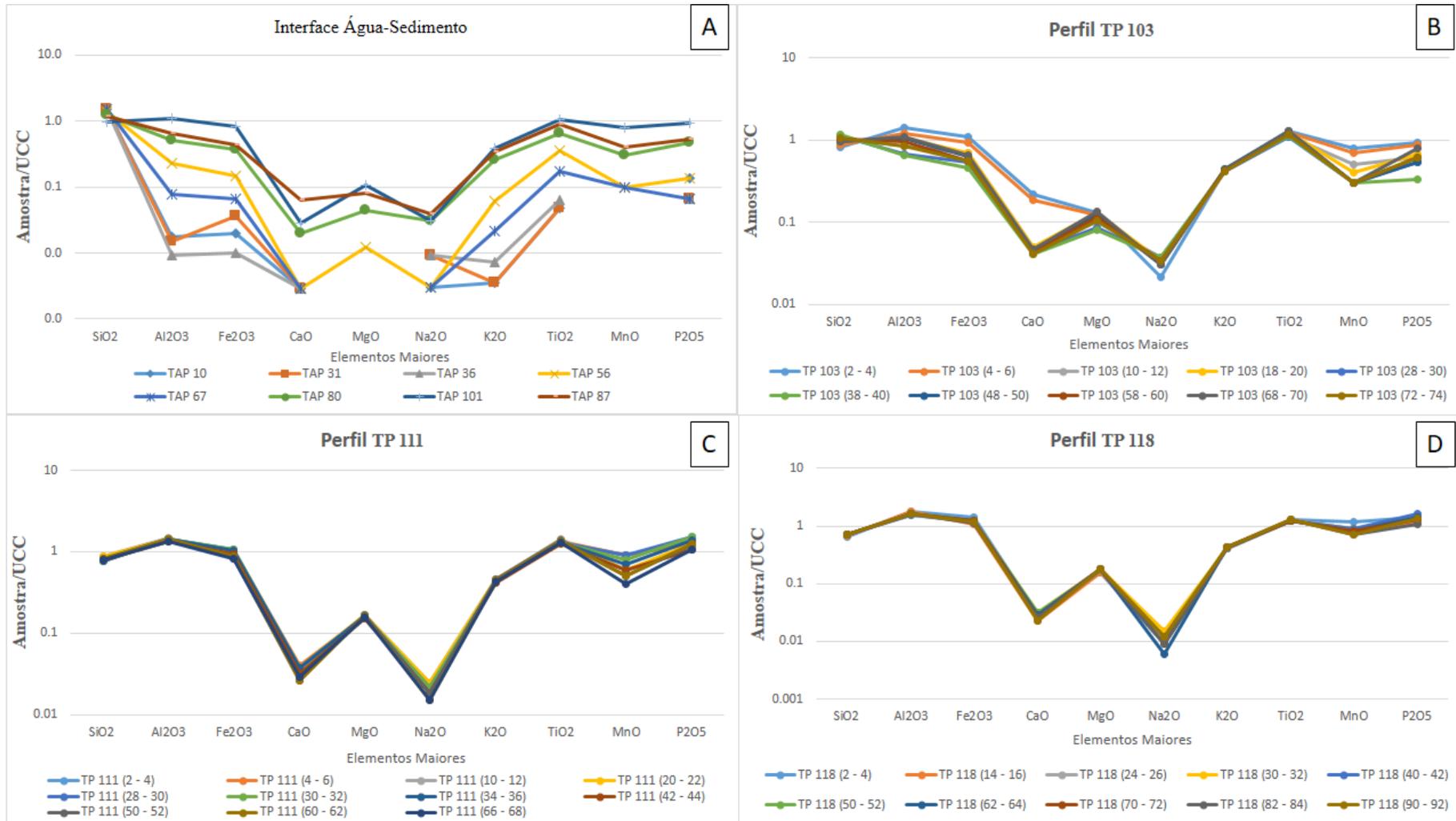


Figura 32 - Normalização dos elementos maiores das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo UCC – *Upper Continental Crust* (Rudnick & Gao 2003).

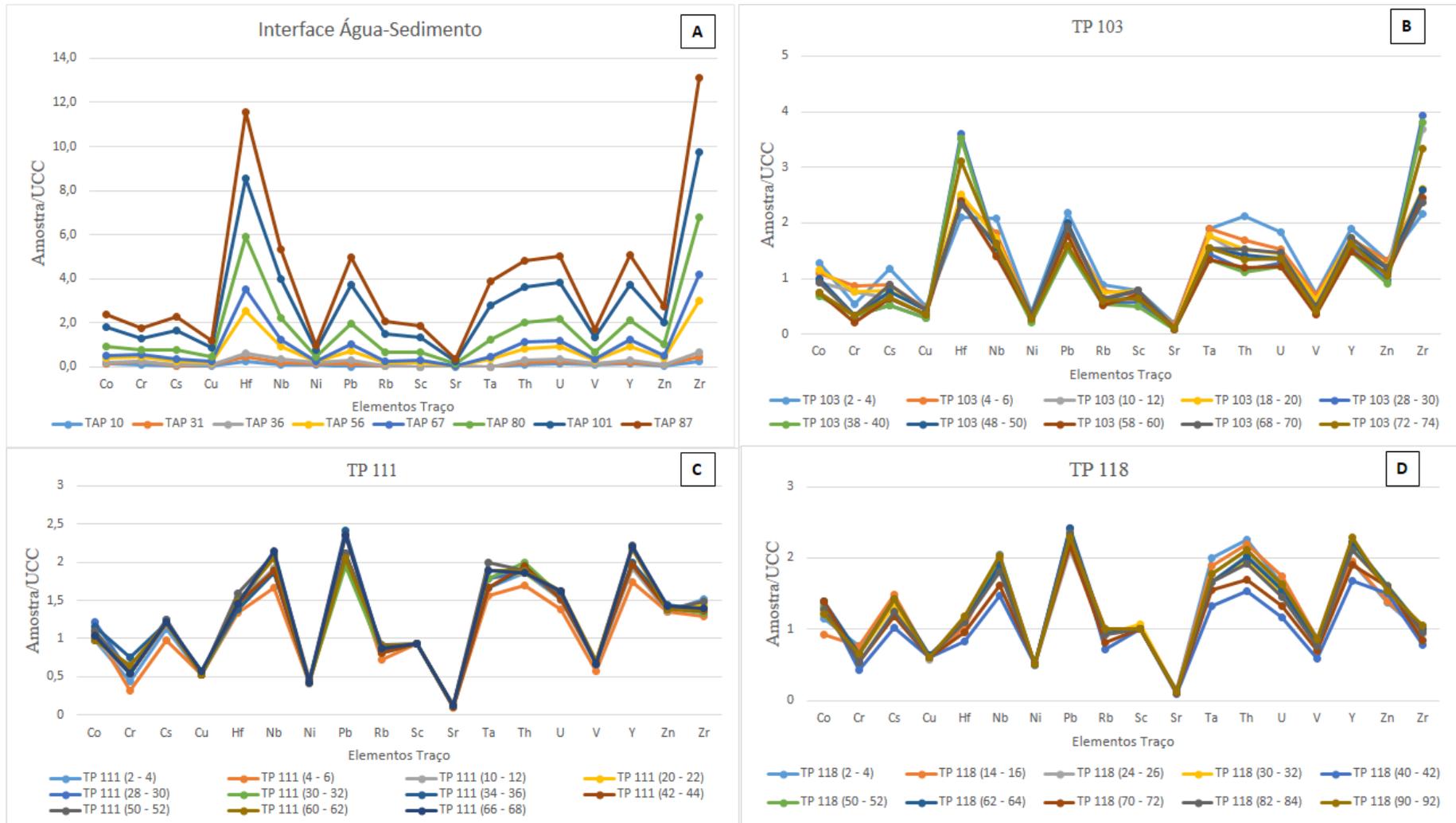


Figura 33 - Normalização dos elementos traço das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo UCC – *Upper Continental Crust* (Rudnick & Gao 2003).



Figura 34 - Normalização dos elementos terras raras das amostras de interface água-sedimento (A) e dos perfis TP 103 (B), TP 111 (C) e TP 118 (D) segundo UCC – *Upper Continental Crust* (Rudnick & Gao 2003).

As concentrações dos ETR das amostras de interface água-sedimento estão abaixo da média crustal (Taylor & McLennan 1985), principalmente nas amostras com granulometria acima de areia fina. As amostras próximas a Aveiro, porção sul, apresentam-se mais concentradas em ETR, amostras compostas de areia muito fina a silte. As normalizações pelos condritos (Wedepohl 1995) identificam os dois grupos de sedimentos, com uma ligeira anomalia negativa do Eu. Esse padrão de distribuição é compatível com o domínio do mineral zircão.

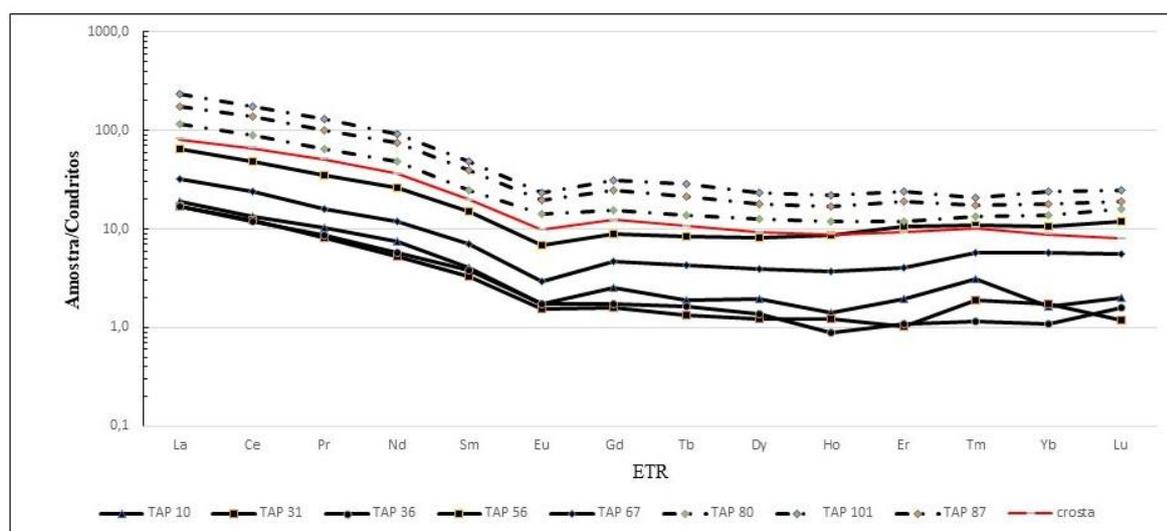


Figura 35 - Normalização dos elementos terras raras das amostras de interface água-sedimento, segundo os condritos (Wedepohl 1995).

Os teores dos ETR dos sedimentos dos perfis TP 103, 111 e 118 normalizados aos condritos (Wedepohl 1995), mostraram empobrecimento dos ETRP, que distingue dos sedimentos de interface água-sedimento, com forte anomalia negativa do Eu. É possível distinguir claramente os tres campos relativos aos tres perfis (Figura 36).

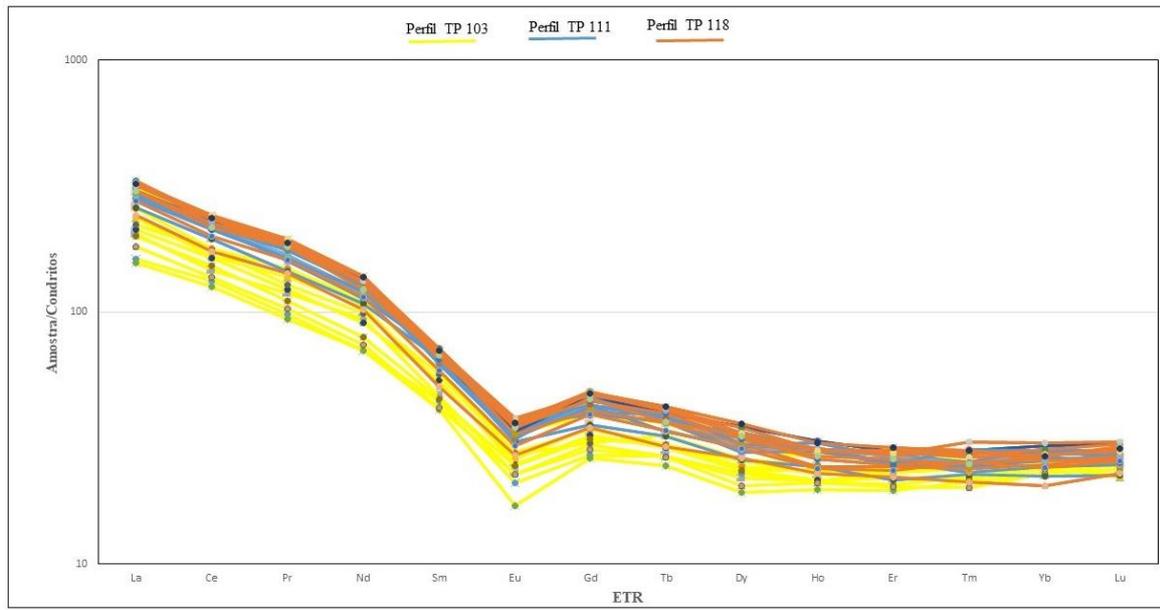


Figura 36 - Normalização dos elementos terras raras das amostras dos perfis TP 103 (amarelo), TP 111 (azul) e TP 118 (laranja) segundo os condritos (Wedepohl 1995).

## 7 DISCUSSÕES

Os sedimentos de interface água-sedimentos são predominantemente arenosos, o que indica que provavelmente sejam produtos da erosão dos barrancos das margens do lago pelas ações das correntes e maresias, dada a sua maior energia, como também observado por Araki *et al.* (2013), já que se encontram nos mesmos.

De Aveiro a Santarém (sul a norte) os perfis apresentam granodecrescência, representados pelo perfil TP 103 a sul de granulometria siltico-arenosa, e pelos perfis TP 111 e TP 118, porção central e norte, de granulometria siltico-argilosa. Estes dados são similares aos dados de Irion *et al.* (2006, 2010) e Fricke *et al.* (2017) de perfis no mesmo local. Por outro lado, os sedimentos de interface água-sedimento se comportam inversamente, no qual apresentam granoascendência de sul para norte (Aveiro a Santarém), com amostras mais siltosas na porção sul e amostras mais arenosas na porção norte, similarmente as amostras de interface de Medeiros Filho *et al.* (2016) e Teódulo (2017) Esta granoascendência está associada aos pontos de interface estarem preferencialmente em áreas próximas as margens e/ou dentro dos canais, o que favorece a granulometria mais arenosa nos sedimentos de interface, e os perfis em pontos distantes das margens e fora do canal, o que favorece a deposição de sedimentos finos, devido a menor energia.

Embora apresentem diferenças granulométricas, as amostras de perfil e de interface apresentam composição mineralógica similar, representada por quartzo, caulinita, illita/muscovita, além de goethita, gibbsita e anatásio como acessórios (Figura 37). Esta composição é semelhante com a maioria dos solos da Amazônia, analisados por Horbe & Costa (1997), que explicam a constituição mineralógica constante como reflexo da pobreza do material de origem ou da intensa exposição ao intemperismo tropical, em distintas áreas amazônicas.

A assembleia de minerais pesados relativamente simples é formada por minerais predominantemente ultraestáveis (Morton & Hallsworth 1994) (zircão, turmalina e rutilo), além de cianita. As diversas formas e texturas dos grãos de minerais pesados apontam para origem cíclica. No entanto, os grãos com formas cristalinas euédricas podem estar relacionados à fonte primária de rochas ígneas graníticas e metamórficas como os mica-xistos. A contribuição de fontes ígneas é evidenciada por grãos de zircão euédrico com zoneamento concêntrico (Corfu *et al.* 2003) e também de turmalinas, com área fonte

relativamente próxima. As contribuições de fontes metamórficas são indicadas pela presença de grãos de cianita, mineral comum de rochas metamórficas paraderivadas, provavelmente mica-xistos, ricas em alumínio, corroborado pela abundância de grãos de rutilo, que apesar de ocorrer em rochas ígneas, é mais frequentemente encontrado em rochas metamórficas (Hoskin & Black 2000, Mange & Maurer 1992, Morton & Hallsworth 1994, 1999).

Esmectitas que estão em menor proporção, diferentemente do que foi indicado por Medeiros Filho *et al.* (2016), que encontraram esmectitas nas proximidades da zona de confluência com o rio Amazonas (30km adentro do Lago Tapajós), foram identificadas apenas em três pontos, que estão distantes desta confluência. Um a 103 km adentro do Lago Tapajós (porção central); outro a 136 Km, próximo a Aveiro (porção sul); e a 107 Km, no perfil TP103 (porção sul) também próximo a Aveiro. Isto infere que há outra(s) fonte(s) deste argilomineral, além do rio Amazonas, como sugerida por Irion *et al.* (2010), Meade *et al.* (1979), Medeiros Filho *et al.* (2016), Sioli (1984). A presença de mais de uma área fonte é corroborada pelas características morfológicas e químicas dos minerais pesados, principalmente dos zircões.

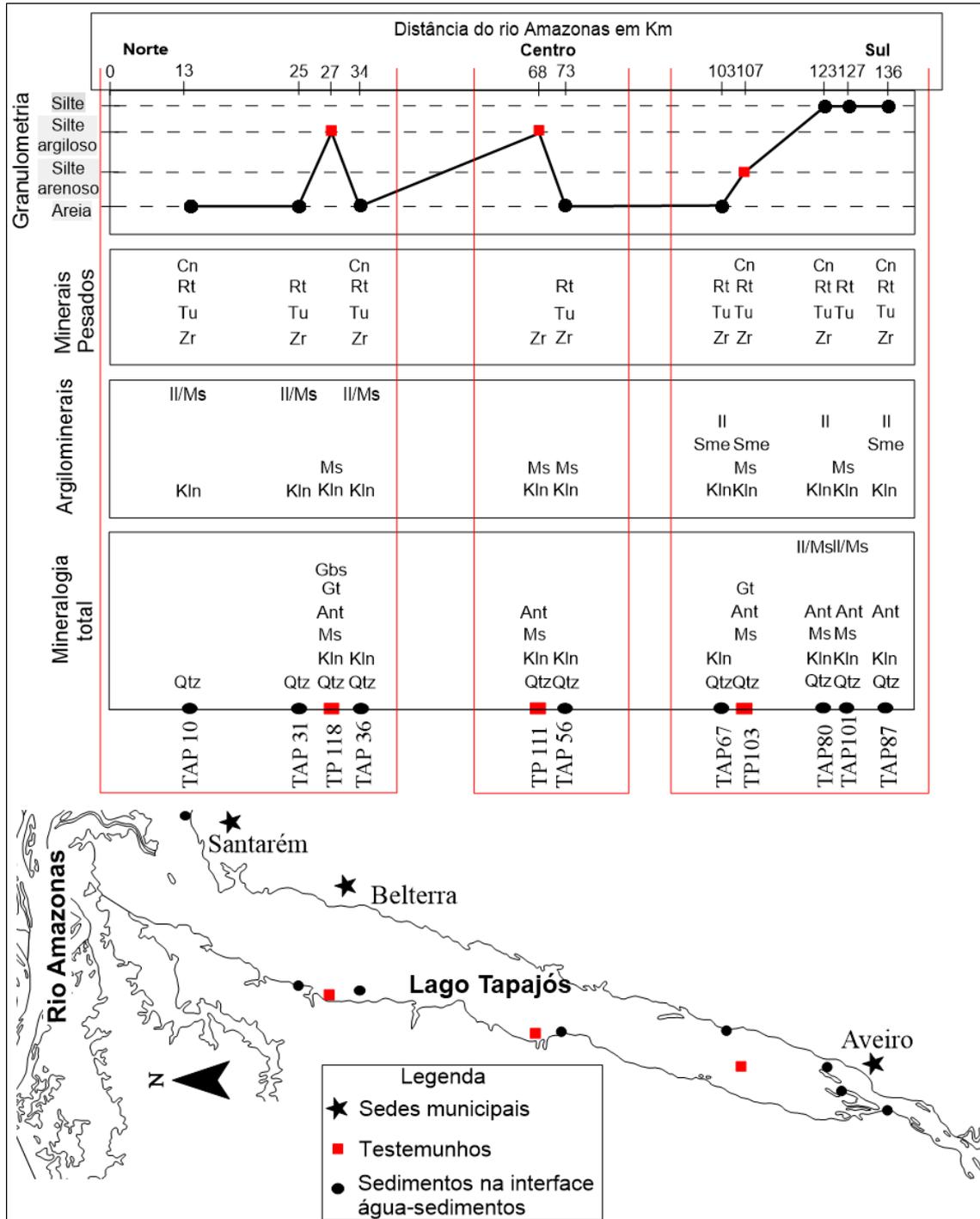


Figura 37 - Integração de dados granulométricos e mineralógicos dos dados do Lago Tapajós e a distância de cada amostragem do rio Amazonas, das amostras de interface (●) e perfis (■), Qtz (quartzo), Kln, (caulinita), Ms (muscovita), Il (illita), Ant (anatásio), Gt (goethita) Gbs (gibbsita) e Sme (esmectita).

As razões Th/U sugerem filiação tanto a rochas graníticas quanto máficas (Figuras 38 e 39), em que os valores de Nb acima de 2% (tabela 3) sugerem contribuição de granitos (Breiter *et al.* 2014). As razões Zr/Hf nos grãos de zircão tendem a aumentarem de

Aveiro para Santarém (confluência com o rio Amazonas). Essas razões Zr/Hf variam entre 20,12 e 40,49, que coincidem em parte com a razão Zr/Hf de zircão da crosta continental, que varia de 36 a 45 (Pupin 1980). Valores de Zr/Hf abaixo de 25 correspondem aos granitos evoluídos, e entre 25 e 55 estariam os granitos de evolução moderada, descritos por Breiter *et al.* (2014), indicando duas fontes.

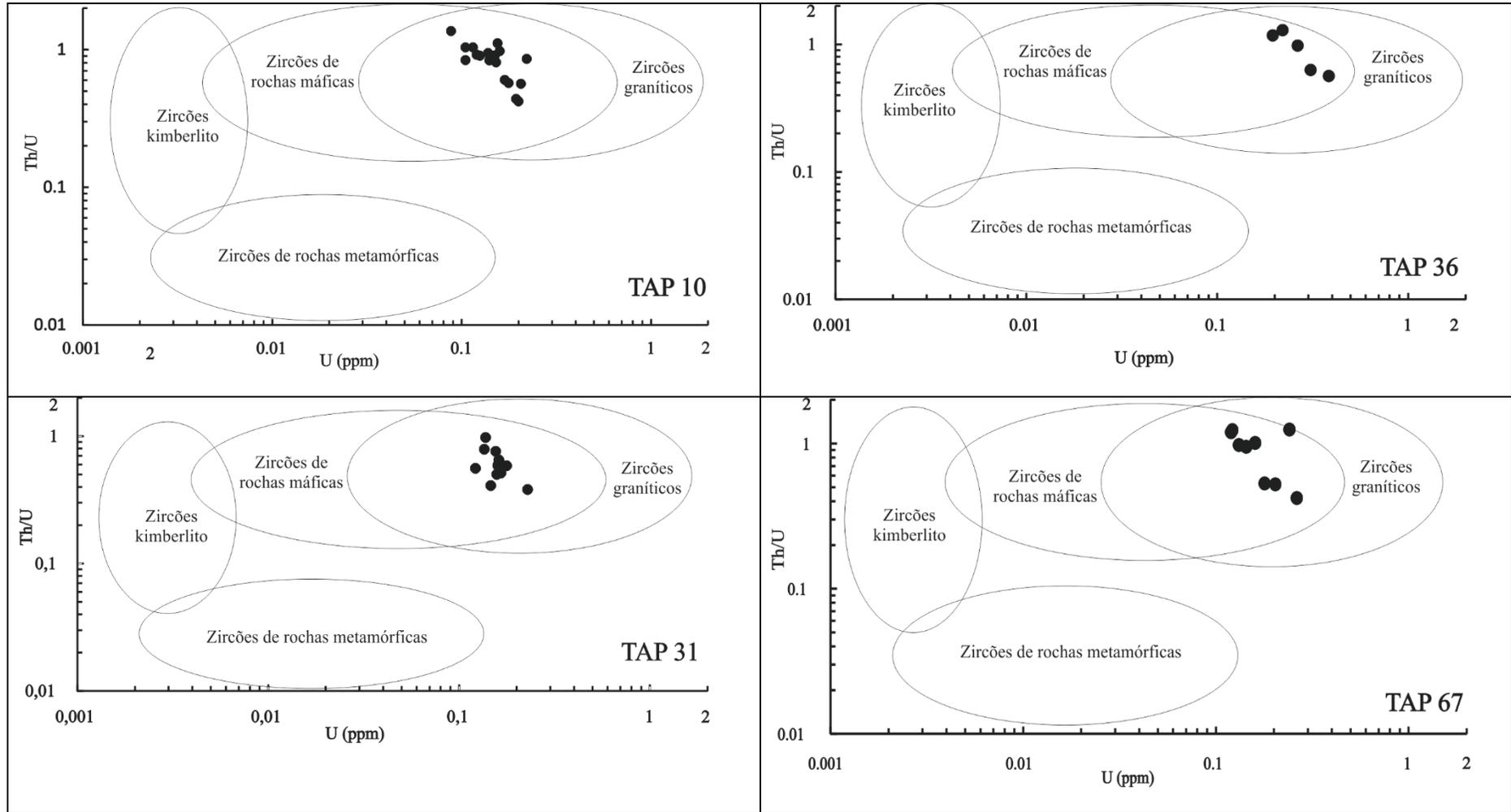


Figura 38 - Caracterização litológica dos zircões estudados de interface água-sedimento do Lago Tapajós (TAP 10; TAP 31; TAP 36; e TAP 67) com base nos diagramas Th/U versus U conforme os diagramas de Belousova *et al.* (2002), Duddy & Kelly (1999) e Heaman *et al.* (1990).

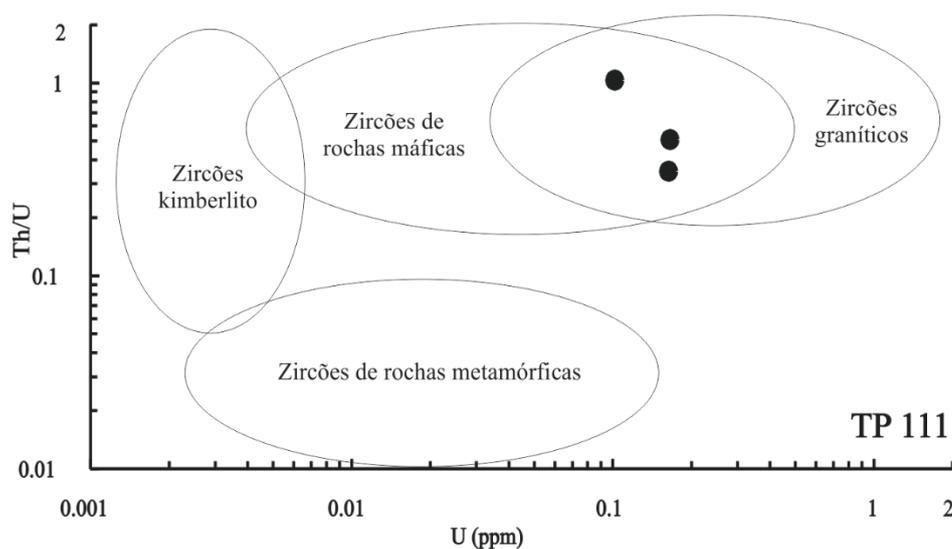


Figura 39 - Caracterização litológica dos zircões estudados do Perfil TP 111, com base nos diagramas Th/U versus U conforme os diagramas de Belousova *et al.* (2002), Duddy & Kelly (1999) e Heaman *et al.* (1990).

O diagrama ternário  $\text{SiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3$  das amostras de interface (TAP) e dos perfis (TP 103, 111 e 118) (Figura 40 A) deixa claro o enriquecimento em  $\text{SiO}_2$  para sul nos perfis, que é menor no testemunho TP118 e maior nas amostras de interface. Já o diagrama  $\text{K}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{CaO}$  define duas populações distintas, que, no entanto, não se restringem a amostras de interface ou de perfil, que ocorrem em ambas as populações (Figura 40 B). O diagrama  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{PF} - \text{COT}$  (carbono orgânico total) igualmente indica distinção entre uma população representada pelas amostras de interface e outra constituída pelas amostras de perfil, com conteúdo de matéria orgânica mais elevados e mais baixos, respectivamente (Figura 40 C). E em relação ao diagrama  $\sum\text{ETR}, \text{Zr}, \text{TiO}_2$  não se verificou relação aos  $\sum\text{ETR}$  e Zr (Figura 40 D).

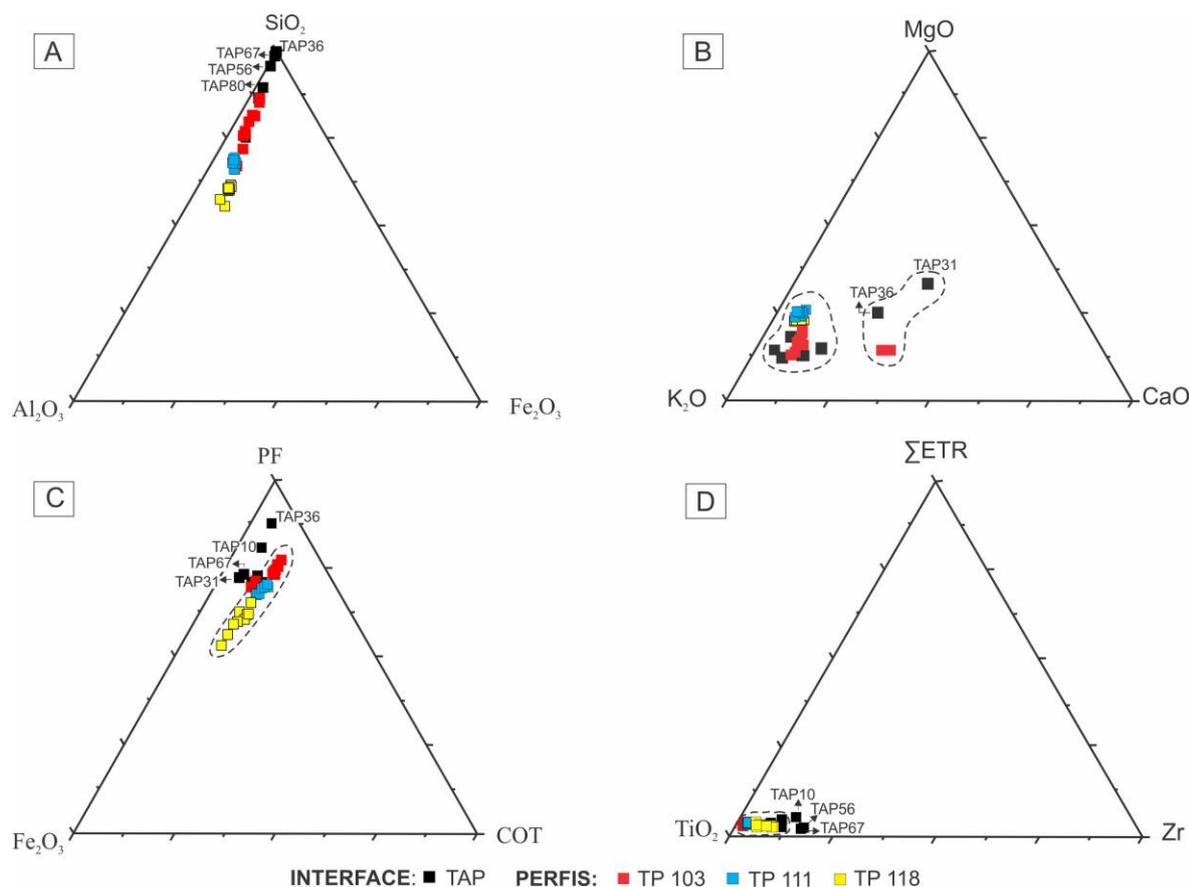


Figura 40 - Diagramas ternários para as amostras dos perfis e de interface água-sedimento: A) SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. B) MgO, CaO, K<sub>2</sub>O. C) PF, COT (carbono orgânico total), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. D) ΣETR, Zr, TiO<sub>2</sub>.

A abundância de SiO<sub>2</sub>, seguidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sugerem contribuição do intemperismo tropical (Konhauser *et al.* 1994, Kronberg *et al.* 1979).

Anomalia negativa do Eu observada em todo material amostrado sugere origem de mesma fonte, comumente interpretada como herdada de rochas ígneas felsicas (McLennan & Taylor, 1991), assim como o enriquecimento do ETRL, sugere rochas graníticas e seus produtos de alteração intempérica, o que condiz com a mineralogia, devido a abundância de quartzo, caulinita, illita, muscovita e zircões. Nas normalizações crustais de Taylor & McLennan (1985), os sedimentos do lago Tapajós são em geral, enriquecidos em Zr, Hf, associados a minerais resistentes, como zircão e goethita, o que realça o caráter maturo da área fonte em questão.

Taxas de acumulação de sedimentos usando o radioisótopo de ocorrência natural <sup>210</sup>Pb (Aalto & Nittroer 2012, Allison *et al.* 1995, Kuehl *et al.* 1986, 1996) foram

calculadas por Fricke *et al.* (2017) nos sedimentos de perfis lamosos coletados no lago do Tapajós, que de sua malha amostral, três perfis (TP 118, TP 111 e TP 103) são os mesmos estudados neste trabalho. Os autores concluíram que os valores para o lago, em suas amostragens, variaram de 0,2 a 1,9 cm/ano, sendo que no perfil TP 118, na porção norte, chega a 1,4 cm/ano de sedimentos, enquanto que o perfil TP 103 acumula 0,3 cm/ano. O perfil TP 111 não foi possível obter a taxa de acumulação por conta de inversão de valores do topo e da base. Com estes valores e a profundidade dos perfis, foi possível estimar a idade dos dois perfis, que correspondem a 64,2 anos para o perfil TP 118 (porção norte) e 246,6 anos para o perfil TP 103 (porção sul) (tabela 7). No entanto, quando comparados com os dados de Irion *et al.* (2006), que também calculou taxas de acumulação de sedimentos por  $^{14}\text{C}$  em seu perfil, também no Lago Tapajós, calculou uma taxa de 0,5 cm/ano nos três primeiros metros de profundidade, correspondendo a 605 anos, e 10.000 anos para os 40 metros de profundidade. Ao aplicar a taxa de sedimentação constante para a profundidade dos perfis investigados neste trabalho, obteve 180 anos para TP 118, 136 anos para TP 111 e 148 anos para TP 103 de (Tabela 7).

Em ambas as comparações as idades dos perfis são do Holoceno, como já observado por Irion *et al.* (2006), que chegaram a 10.000 anos. No entanto, ao analisar as taxas de sedimentação de Fricke *et al.* (2017), a localização dos perfis e suas estimadas idades, pode-se observar que, no perfil a sul TP 103 (Aveiro) a taxa de sedimentação é mais baixa e a idade mais antiga, em relação ao perfil norte TP 118 (Santarém), provavelmente devido ao fluxo contínuo e/ou menor carga de sedimentos em suspensão. Já no perfil ao norte, TP 118, há maior acumulação de sedimentos e a idade deste é mais nova, provavelmente devido à influência do rio Amazonas, que segundo Freitas *et al.* (2017) não altera o fluxo do Lago Tapajós, mas freia sua descarga sedimentar no rio Amazonas devido a maré, o que favorece maior acumulação destes sedimentos na porção norte do lago, o que pode, futuramente, contribuir para torna-lo definitivamente um lago. Com os dados de Irion *et al.* (2006), no qual os dados são inversos, a idade a norte é mais antiga e a sul mais nova, isso se explicaria devido os 40 m de sedimentos de sua amostragem terem sido depositadas logo após ao afogamento da desembocadura do rio Tapajós.

Tabela 8 - Estimativa da idade de perfis de acordo com taxa de acumulação de sedimentos de Fricke *et al.* (2017) <sup>1</sup> e Irion *et al.* (2006) <sup>2</sup>.

Perfil	Profundidade	Taxa Acumulação <sup>1</sup>	Idade Estimada	Taxa Acumulação <sup>2</sup>	Idade Estimada
TP 118 (norte)	90 cm	1,4 cm/ano	64,2 anos	0,5 cm/ano	180 anos
TP 111 (central)	68 cm	-	-	0,5 cm/ano	136 anos
TP 103 (sul)	74 cm	0,3 cm/ano	246,6 anos	0,5 cm/ano	148 anos

O baixo curso da bacia do rio Tapajós, hoje denominado Lago Tapajós, drena rochas sedimentares cretáceas em geral cobertas por espessos pacotes de solos tropicais e sedimentos arenosos (Figura 41 a). Sua foz foi afogada, pelas águas do rio Amazonas, o que contribuiu para deposição de cerca de 40 m de sedimentos lamosos holocênicos (Irion 1983, 1984, 1989, Irion *et al.* 2006, 2010). Modificando sua característica fluvial para condições lacustres (Figura 41 b), se admite que o aporte sedimentar atual seja proveniente principalmente de suas margens, com pouca contribuição vinda da região a montante.

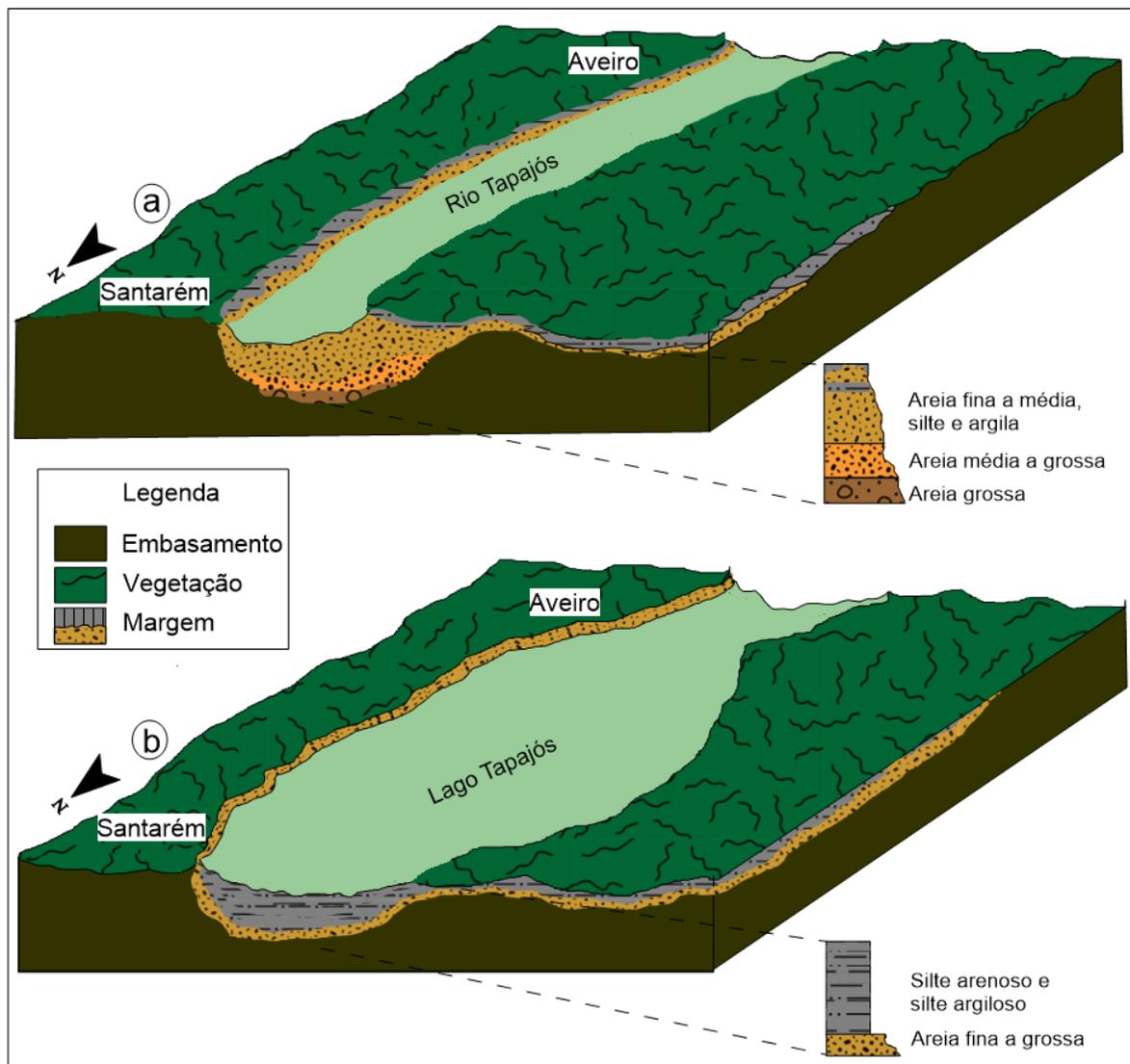


Figura 41 - Modelo evolutivo do rio-lago Tapajós. A) ambiente fluvial, antes da subida do nível do mar. B) transição para ambiente lacustre, de acordo com os dados deste trabalho, corroborados com os dados de Irion (1983, 1984, 1989), Irion *et al.* (2006, 2010).

## 8 CONCLUSÕES

Com base nos estudos sedimentológicos, mineralógicos e químicos dos sedimentos holocênicos de interface e dos perfis do Lago Tapajós foi possível concluir que:

- Os sedimentos são provenientes de granitóides e rochas metamórficas (mica-xistos) intemperizadas ou das sequências sedimentares derivadas das mesmas, como é o caso dos depósitos da Formação Alter do Chão, que frequentemente afloram nas margens do lago. Estas fontes, bastante diversificadas estão relacionadas ao retrabalhamento tanto na porção distal quanto proximal do lago, como é sugerido pelos aspectos morfológicos dos grãos e pela assembleia de minerais pesados.
- As características mineralógicas e químicas destes sedimentos apontam para sedimentação lacustre, com sedimentos arenosos nas margens e sílticos e argilosos nas zonas centrais. Portanto, as fontes dos sedimentos são preferencialmente as margens leste e oeste do lago, com pouca contribuição da porção sul (antigo ambiente fluvial) e da porção norte (confluência do Lago Tapajós com o rio Amazonas), o que é corroborado pela ausência de esmectita na porção norte do lago e sua presença na porção sul, o que indica que este mineral é proveniente do intemperismo das rochas aflorantes nas margens do lago.
- As variações das idades estimadas da porção norte e sul do lago Tapajós apresentam relação direta com a barreira física formada pelo rio Amazonas, pois favorece deposição de sedimentos na porção norte do lago, gerando pacotes mais espessos de sedimentos.

## REFERÊNCIAS

- Aalto R. & Nittrouer C. A. 2012 -  $^{210}\text{Pb}$  geochronology of flood events in large tropical river systems. *Phil. Trans. Roy. Soc. A*, v **370** p 2040–2074.
- Allison M. A., Nittrouer C. A., Faria L. E. C. 1995 - *Rates and mechanisms of shoreface progradation and retreat downdrift of the Amazon River mouth. Mar. Geol.*, v **125** p 373–392.
- Aprile F. M., Darwich A. J., Raposo J. C. 2005 - *Considerações sobre a geoquímica e dinâmica sedimentar do Lago Tupé. In: Santos-Silva Aprile, Scudeller, Marques E. N. F., Vizoni V., Melo S. (Orgs.). Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central. Ed. INPA, Manaus, 2005.*
- Araki L. A., Sawakuchi A. O., Turra B. B., Silva M. L. S. 2013 - *Dinâmica sedimentar do baixo rio Tapajós, Pará: um exemplo de sistema deposicional fluvial dominado por ondas. In XIV Congresso da ABEQUA.*
- Araujo I. B. de, Lima A. M. M. de, Santos C. A. dos. 2015 - *Caracterização hidrogeomorfológica das paisagens componentes da bacia hidrográfica do rio Tapajós. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, v **11** n 22 p 3301.
- Belousova E. A., Walters S., Griffin W. L., O'reilly S. Y., Fisher N. I. - 2002. *Zircon trace-element compositions as indicators of source rock type. Contributions to Mineralogy and Petrology*, v **143** p 602–622.
- Breiter K., Lamarão C. N., Borges R. M. K., Dall'agnol R. 2014 - *Chemical characteristics of zircon from A-type granites and comparison to zircon of S-type granites. Lithos* v **192** p 208–225.
- Campos M. C. C., Ribeiro M. R., Souza Júnior V. S. de, Ribeiro Filho M. R., Souza R. V. C. C. de, Almeida M. da C. de. 2011 - *Características mineralógicas de latossolos e argissolos na região sul do Amazonas. Rev, Acad. Ciênc. Agrár. Ambient*, v **9** n 1 p 11-18.
- Caputo, M.V. 1984 - *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology, and paleogeography of northern basins of Brazil [PhD, thesis]: Santa Barbara, University of California*, 583 p.
- Corfu F., Hanchar J. M., Hoskin P. W. O., Kinny P. 2003 - *Atlas of zircon textures. In: Hanchar J. M. & Hoskin P. W. O. (Eds). Zircon. Reviews in Mineralogy & Geochemistry. Mineralogical Society of America Geochemical Society. v. 53* p 469-500.
- Costa M. L., Meneses M. E., Carvalho L. C. F., Costa J. A. V. 2007 - *Produção bibliográfica sobre ambientes lacustres no Brasil. Acta Geográfica (UFRR)*, v. **I** p 113-122.

Cunha F. M. B., Gonzaga F. G., Coutinho L. F. C., Feijó F. J. 1994 - *Bacia do Amazonas*, *Bol. Geoc. Petrob.* v **8** p 47-55.

Daemon R.F. 1975 - *Contribuição para a datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas*. *Rev. Bras. Geociências*, v.5 n.2 p 78-84.

Duddy I.R. & Kelly P. R. 1999 - *Uranium in mineral sands: measurement and uses*. *Australian Institute of Geoscientists Bulletin The Australian Institute of Geoscientists, Perth*. n **26**.

Dunne T., Mertes L. A. K., Meade R. H., Richey J. E., Forsberg B. R. 1998 - *Exchanges of sediment between the flood plain and channel of the Amazon River in Brazil*. *Geological Society of America Bulletin* v **110** p 450-467.

Dino R., Silva O. B., Abrahão D. 1999 - *Caracterização palinológica e estratigráfica de estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas*: In: Simpósio sobre o cretáceo. *Boletim de Resumos*, Rio Claro, UNESP, v **5** p 557-565.

Esteves F. A. 1998 - *Fundamentos de Limnologia*, Rio de Janeiro, Interciência/ FINEP.

Filizola N. & Guyot J. L. 2004 - *The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determination in the River Amazon*, *Hydrological Sciences-Journal des Sciences Hydrologiques*, v **49** n (1) p 143-153.

Freitas P. T. A., Asp N. E., Souza-Filho P. W. M. E., Nittrouer C. A., Ogston A. S., Silva M. S. da. 2017 - *Tidal influence on the hydrodynamics and sediment entrapment in a major Amazon River tributary e Lower Tapajos River*. *Journal of South American Earth Sciences* v **79** p 189-201.

Fricke A. T., Nittrouer C.A., Ogston A. S., Nowacki D. J., Asp N. E., Souza Filho P. W. M., Silva M. S. da, Jalowska A. M. 2017 - *River tributaries as sediment sinks: Processes operating where the Tapajos and Xingu rivers meet the Amazon tidal river*. *Sedimentology*. v **64** n 6 p 1731-1753, doi:10.1111/sed.12372.

Folk R.L. & Ward W. C. 1957 - *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. *J. Sedimentol. Petrol.* v **27** p 3-26.

Gibbs R. J. 1967 - *Geochemistry of the Amazon river system, parte I, The factor that control the salinity and composition and concentration of the suspended solids*. *Geological Society of America Bulletin*, v **78** p 1203-1232.

Gromet L. P., Dymek R. F., Haskin L. A., Korotev R. L. 1984 - *The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v **48** p 2469-2482.

Guyot J. L., Bourges J., Cortez J. 1994 - *Sediment Transport in the Rio Grande, an Andean River of the Bolivian Amazon Drainage Basin*, In: Olive L,J, Loughran R. J., Kesby J. A. (eds,) *Variability in Stream Erosion and Sediment Transport*, Canberra, IAHS, p, 223-231.

Guyot J.L., Jouanneau J. M., Soares L., Boaventura G. R., Maillet N., Lagane C. 2007 - *Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. Catena*, v **71** p 340-356.

Henderson P. 1984 - *Rare earth element geochemistry. Elsevier Sc. Pub. Cia.*

Heaman, L. M., Bowins R., Crocket J. 1990 - *The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies. Geochimica et Cosmochimica Acta* v **54** p 1597–1607.

Horbe A. M. C. & Costa M. L. 1997 - *Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílico ferruginosas. Acta Amazonica*, v **27** p 241-256.

Hoskin P. W. O. & Black L. P. 2000 - *Metamorphic zircon formation by solid state recrystallization of protolith igneous zircon. J. Metamorph. Geol.* v **18** p 423–439.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)| 2001 - **Climate Change: the scientific basis IPCC WG I TAR**, Cambridge: Cambridge Univ, Press, 881 p.

Irion G. 1983 - *Clay mineralogy of the suspended load of the Amazon and of rivers in the Papua–New Guinea mainland. Mitteilungen Geologie und Paläontologie Institut Universität Hamburg*, v **55** p 483–504.

Irion G. 1984 - *Sedimentation and sediments of Amazonian rivers and evolution of the Amazonian landscape since the Pliocene times*, In: Sioli H. (Ed.), *The Amazon, Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin*, Dordrecht, Junk W. v **76** p 201–214.

Irion G. 1989 - *Quaternary geological history of the Amazon lowlands*. In: Holm-Nielsen L. B., Nielsen I. C., Baslev H. (Eds.), *Tropical Forests. Academic Press*, New York, London, p 23-34.

Irion G., Bush M. B., Nunes de Mello J. A., Stüben D., Neumann T., Müller G., Morais J. A., Junk W. 2006 - *A multiproxy palaeoecological record of Holocene lake sediments from the Rio Tapajós, eastern Amazonia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v **240** p 523-535.

Irion G., de Mello J. A. S. N., Morais J., Piedade M. T. F., Junk W. J., and Garming L. 2010 - *Development of the Amazon Valley During the Middle to Late Quaternary: Sedimentological and Climatological Observations (Chapter 2)*, In: W. J. Junk et al. (eds.), *Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management, Ecological Studies* v **210**, Springer, 615 p.

Jorge, J. A. 1980 - *Eficácia de métodos de oxidação de matéria orgânica do solo para análise granulométrica. Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Campinas/SP, p 118–121.

- Junk W. J. 1982 - *Amazonian Floodplains: their ecology, present and potential use*. *Rev. Hydrobiol. Trop.* v **15** p 285-301.
- Konhauser K. O., Fyfe W. S., Kronberg B. I. 1994 - Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils. *Chemical Geology*, v **111** p 155-175.
- Köppen W. & Geiger R. 1928 - *Klimate der Erde*, Gotha: Verlag Justus Perthes, Wall-map 150cmx200cm.
- Kronberg B. I., Fyfe W. S., Leonardos O. H. Jr., Santos A. M. 1979 – *The chemistry of some brazilian soils: element mobility during intense weathering*. *Chemical Geology*, v **24** p 211-229.
- Kuehl S. A., Demaster D. J., Nittrouer C. A. 1986 - *Nature of sediment accumulation on the Amazon continental shelf*. *Cont. Shelf Res.* v **6** p 209–225.
- Kuehl S. A., Nittrouer C. A., Allison M. A., Faria L. E. C., Dukat D. A., Jaeger J. M., Pacioni T. D., Figueiredo, A. G., Underkoffler C. 1996 - *Sediment deposition, accumulation, and seabed dynamics in an energetic finegrained coastal environment*. *Cont. Shelf Res.*, v **16** p 787–815.
- Latrubesse E. M., Stevaux J. C., Sinha R. 2005 - *Tropical rivers*. *Geomorphology*. v **70** p 187-206.
- Latrubesse E. 2008 - *Patterns of Anabranching channels: the ultimate end-member adjustments of mega-rivers*. *Geomorphology* v **101** p 130-145.
- Mange M. A. & Maurer, H. F. W. 1992 - *Heavy Minerals in Coiour*. Chapman and Hall, London, 147 p.
- Martin L., Fournier M., Mourguiart P., Sifeddine A., Turcq, B., Absy M. L., Flexor J. M. 1993 - *Southern oscillation signal in South American paleoclimatic data of the last 7000 years*. *Quaternary Research* v **39** p 338–346.
- Meade R. H., Nordin C. F., Curtis W. F., Mahoney H. A., Delaney B. M. **1979** - *Suspended-sediment and Velocity Data, Amazon River and its Tributaries, June-July 1976 and May-June 1977*. U.S. Geological survey Open-File Report, v **79** 515 p.
- McLennan S. M. & Taylor S. R. 1991 - *Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends*. *Journal Geology*, v **99** p 1-21.
- Medeiros Filho L. C., Lafon J-M., Souza-Filho P. W. M. 2016 - *Pb-Sr-Nd isotopic tracing of the influence of the Amazon River on the bottom sediments in the lower Tapajos River*. *Journal of South American Earth Sciences* v **70** p 36-48.
- Melo M. L. D. de. & Marengo J. A. 2008 - *Simulações do clima do Holoceno médio na América do Sul com o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v **23**, n 2 p 191-205.

Milliman J. D., Farnsworth, K. L. 2011 - *River Discharge to the Coastal Ocean: A Global Synthesis*. Cambridge University Press, 384 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 2009 – *Plano de Manejo – Floresta nacional do Crepori / Pará*, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) – Vol, **III** Relatório do Meio Físico, Curitiba/PR.

Moore D. M. & Reynolds JR., R. C. 1989 - *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford University Press, Oxford, p 179-201.

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

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

Nittrouer C. A., Kuehl S. A., Sternberg R. W., Figueiredo Jr. A. G., Faria L. E. C. 1995 - *Introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf*. *Mar. Geol.* v **125** p 177-192.

Nittrouer C. A., Sternberg R. W., Carpenter R., Bennett J. T. 1979 - *Use of <sup>210</sup>Pb geochronology as a sedimentological tool: application to the Washington continental shelf*. *Mar. Geol.*, v **31** p 297-316.

Pinheiro C. H. R. & Sígolo J. B. 2006 - *Metais pesados e a dinâmica lacustre no parque ecológico do Tietê – Centro de Lazer Engenheiro Goulart – RMSP*, *Geologia USP Série Científica*, v **6** n (1) p 29-39.

Pupin J. P. 1980 - *Zircon and granite petrology. Contribution to mineralogy and petrology*, Berlin /Heidelberg, v **73** p 207-220.

Rudnick R. & Gao S. 2003 - *Composition of the continental crust*. In: Rudnick R. L. (Ed.), *The Crust*. In: Holland H. D. & Turekian K. K. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*, vol. **3**. Elsevier–Pergamon, Oxford, p. 1-64.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). 2004 - *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas*. Manaus: 125 p.

Shepard F. P. 1954 - *Nomenclature based on sand-silt-clay ratios: Journal of Sedimentary Petrology*, v **24**, p 151-158.

Shepard F. P., Moore D. G. 1954 - *Sedimentary environments differentiated by coarse fraction analysis*. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, v **38** n(8) p 1792-1802.

Sioli H. 1984 - *Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region*. *Amazoniana*, v,**1**, p 74-83.

Sioli H. 1984 - *The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types*. in *The Amazon*, edited by H. Sioli, p 127–165, DR W. Junk Publishers, Dordrecht.

Taylor S. R. & McLennan S. M. 1981 – *The composition and evolution of the continental-crust – rare-earth element evidence from sedimentary-rocks*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* v **301** n (1461) p 381-399.

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

Teódulo M. J. R. 2017 - *Geoquímica elemental, mineralogia e isótopos de Sr, Nd e Pb em sedimentos de fundo no baixo curso do Rio Amazonas e tributários: considerações sobre proveniência e mistura de sedimentos*. *Tese de Doutorado*. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará.

Wedepohl K. H. 1995 - *The composition of the continental crust*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v **59** n 7 p 1217-1232.