

Química, isotópos de Pb e proveniência de sedimentos do rio Solimões

Adriana Maria Coimbra Horbe¹ & Ivaldo Rodrigues da Trindade¹

Resumo O estudo mineralógico e químico de rochas sedimentares e de sedimentos permite inferir sobre os processos geológicos envolvidos na sua formação. Fornece também informações do grau de intemperismo na fonte, a composição média do material transportado do continente para os oceanos e sobre a composição média da crosta continental. Neste trabalho foram estudados os sedimentos dos terraços fluviais e das várzeas que ocorrem na porção jusante dos rios Purus e Solimões, entre as cidades de Coari e Manaus, no estado do Amazonas. Foram utilizados dados de mineralogia, química de elementos maiores, traços e isotópos de Pb com o objetivo de discutir a variabilidade química, os efeitos do intemperismo e o clima, a proveniência e a variação temporal dos sedimentos. Os resultados indicam que os terraços são quimicamente mais maduros que as várzeas e sugerem fontes mais diversificadas, félsicas e radiogênicas, com posterior contribuição mais máfica para as várzeas. Isso está de acordo com a evolução geológica de cadeias de montanhas tipo os Andes, contudo, não se descarta a influência do clima mais úmido e a cobertura de floresta atual que restringe o aporte de material mais félsico das áreas cratônicas.

Palavras-chave: Mineralogia, fonte de sedimentos, várzea, terraços fluviais, Holoceno, sedimentos de rio.

Abstract *Chemical, Pb isotopes and source of sediments from Rio Solimões Basin.* The mineralogy and the chemistry of sedimentary rock and sediments allow make interpretation about the geological processes related in their formation. Give data about the weathering alteration in the source, the chemical composition of the material transported by the river and about the chemical composition of the continental crust. In this paper we study the major, trace and rare earth element and Pb isotopes composition of the sediment from the fluvial terrace and “várzeas” of the lower portion of Solimões e Purus Rivers between Coari and Manaus, Amazonas State with the aim to discuss the chemical composition, the weathering effect, the provenance and the temporal variability of the sediment. The results indicate that the fluvial terrace is chemically mature with higher variability in the source, more felsic and radiogenic and to more mafic to the “varzea”. This is in accordance with the geological evolution of Andean-type cordillera, although the actual climatic environment humid and with forest cover, cause low erosion and restrictive input of felsic material from the cratonic areas.

Keywords: mineralogy, source várzea, fluvial terrace, Holocene, river sediments.

INTRODUÇÃO Os sedimentos carregados pelos rios são basicamente constituídos de grãos detríticos, transportados por saltação, e material argiloso que forma o material particulado em suspensão. Suas características dependem da topografia, clima e intemperismo da fonte, além das condições de transporte, deposição e possível diagênese. Esses processos modificam o material, de modo que a fração depositada não é similar a fonte inicial. Há também o agravante do sedimento ser produto de múltiplas fontes e de haver reciclagem na própria bacia de drenagem. Apesar de todos esses fatores, há inúmeros trabalhos que demonstram clara correlação dos sedimentos e suas fontes, especialmente com base em minerais pesados (Weltje & Eynatten *et al.* 2004).

Outra aplicação do estudo dos sedimentos é inferir sobre a composição da crosta continental e sua evolução ao longo do tempo geológico. Para isso utilizam-se suas características químicas, pois elas representam a composição média do material erodido dos continentes (Taylor & McLennan, 1985), o efeito do intemperismo na fonte e o fluxo de material do conti-

nente para os oceanos (Stallard & Edmond 1987; Allègre *et al.* 1996; Dupré *et al.* 1996; Edmond *et al.* 1995; Gaillardet *et al.* 1997; Millot *et al.* 2003).

Na Amazônia, os rios de água branca são os que apresentam maiores conteúdos de material em suspensão que ao se depositarem ao longo de seus cursos formam extensas terraços fluviais, ilhas e barras. Vários autores correlacionam a fonte da maior parte desses sedimentos aos Andes com contribuições menos significativas das rochas cratônicas e sedimentares siliciclásticas que ocorrem ao longo da bacia Amazônica (Gibbs, 1967; Irion, 1983; Stallard & Edmond, 1983; Martinelli *et al.* 1993; Konhauser *et al.* 1994; Guyot *et al.* 2007).

Todas essas informações comprovam a importância do estudo das rochas sedimentares e dos sedimentos na identificação dos processos geológicos envolvidos na sua formação ao longo do tempo. Com esse objetivo foram quantificados os elementos maiores, traços e isotópos de Pb, com o objetivo de discutir: 1) os efeitos do intemperismo; 2) a proveniência e 3) a variação temporal dos sedimentos que formam os terraços fluviais e as vár-

1 - Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geociências, Manaus (AM), Brasil. E-mail: ahorbe@ufam.edu.br

zeas que ocorrem na porção jusante dos rios Purus e Solimões, entre Coari e Manaus, no estado do Amazonas.

ASPECTOS GEOLÓGICOS As cabeceiras do Solimões são formadas por uma série de rios que nascem na região andina do sul da Colômbia (Apoporis, Caquetá e Putamayo), no Equador (Napo, Tigre, Pastaza) e oeste do Peru (Marañón e Ucayali). Os rios Juruá e Purus, que influenciam a química dos sedimentos do rio Solimões na região estudada, nascem na região de *foreland* do sudeste do Peru. Esses rios drenam diversos ambientes geológicos: as bacias de ambiente compressivo do Pastaza-Marañón, Ucayali, Madre de Dios e Acre constituídas por sedimentos mio-pleistocenos relacionados aos ambientes marinhos, estuarinos e fluviais (Rasanen *et al.* 1995); rochas vulcânicas terciárias da região de Hualgayoc; metasedimentares dos complexos pré-cambrianos Marañón e Olmos e sedimentares cretáceas no Peru (MacFarlane & Petersen 1990); granitos e carbonatos permiano-triássicos das cadeias Andinas oriental e sub-Andina; depósitos de minérios caracterizados por variabilidade isotópica de acordo com seu alojamento em diferentes domínios geotectônicos (Chiaradia & Fontboté 2000).

Segundo Tibaldi & Ferrari (1992 In: Jaillard, *et al.* 2000) a região dos Andes equatorianos (entre 1° N e 4° S) é uma das mais estreitas e mais ativas do cinturão Andino. É deformada por zonas de cisalhamentos transpressivas dextrais NNE-SSW e submetida a intensas atividades tectônica e vulcânica. Nesse ambiente, esses autores descrevem várias zonas com estruturas em flor positiva em que fatias de rochas de idades dis-

tintas foram alçadas umas sobre as outras por falhas de empurrão com movimento para oeste e leste.

O soerguimento dos Andes a partir do início do Paleogeno, causou a inversão da drenagem da região de oeste para leste e a formação da atual bacia dos rios Solimões e Amazonas (Hoorn *et al.* 1995; Hooghiemstra & Hammen 1998; Potter 1997). Essa diversidade de rochas que constituem os Andes, além das dos crátons Guianense e Brasileiro e da Bacia Intracratônica do Solimões passaram a ser a fonte dos sedimentos neógenos que formaram os terraços fluviais, as ilhas e as barras dos rios da Amazônia. Em alguns locais esses terraços têm dezenas de quilômetros de extensão lateral, como por exemplo, próximo a cidade de Coari (Fig. 1).

MATERIAIS E MÉTODOS Foram selecionados 8 exposições de sedimentos localizados ao longo do canal do rio Solimões e Purus (Fig. 1). Quatro exposições correspondem à unidade mais antiga que forma os terraços fluviais mais elevados (P1 a 4) e os outros quatro o sedimento atual depositado nas margens do Solimões e Purus (P5 a 8). Amostras representativas dessas camadas foram coletadas, secas e descritas, com ênfase nas características estruturais, texturais e de cor. Em seguida, foram feitas análises mineralógicas via difração por raios-x (DRX) e químicas. As análises de DRX foram realizadas em equipamento Shimadzu XRD 6000, equipado com ânodo de Cu, e com intervalo de leitura entre 5° a 60° 2θ no laboratório da UFAM.

As análises químicas para os óxidos maiores totais foram feitas pela Acme, Analytical Laboratories

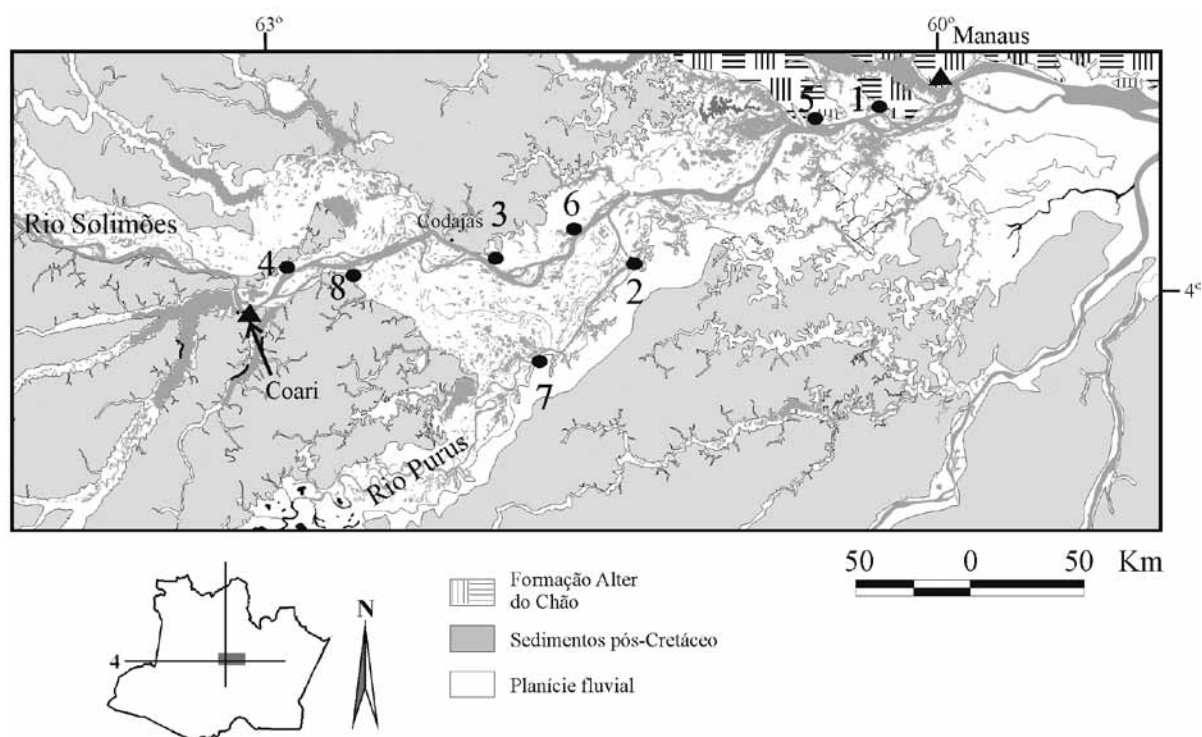


Figura 1 - Mapa geológico entre Manaus e Coari e localização dos pontos amostrados.

LTD, no Canadá. Primeiramente, as amostras passaram por fusão com LiBO_2 e dissolução com água-régia. Os elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , MgO , CaO , Na_2O e K_2O) foram determinados por ICP-AES. A perda ao fogo (P.F.) foi feita por gravimetria. Os elementos-traço (Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Se, Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sc, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y e terras raras (ETR)) foram determinados por ICP-MS.

Foi realizada análise estatística por componentes principais (Statistica 6.0), método que permite determinar as correlações entre as variáveis (os dados químicos) que são expressas em fatores. Cada fator é representado por valores que informam as cargas de correlação entre as variáveis. Para a expressão dessas cargas utilizou-se um diagrama XY. O índice CIA foi calculado, segundo Nesbitt & Young (1982) (equação 2):

$$\text{CIA} = (\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})) \times 100 \quad (1)$$

A relação $(\text{La}/\text{Yb})_N$ foi obtida pela razão entre a concentração do La e Yb em relação ao condrito de Evensen de Taylor e McLennan (1985) e Eu/Eu^* por meio da equação 2 e Ce/Ce^* também em relação aos condritos pela equação 3:

$$\text{Eu}/\text{Eu}^* = [(Eu/0,087) / (\sqrt{(Sm/0,231) * (Gd/0,306)})] \quad (2)$$

$$\text{Ce}/\text{Ce}^* = [(Ce/0,957) / (\sqrt{(La/0,367) * (Pr/0,137)})] \quad (3)$$

As análises de isótopos de Pb foram realizadas no Department of Geological Science, University of North Carolina, USA. Alíquotas de 20-40 mg de amostra foram digeridas a quente com HF/HNO_3 e HCl 6N. O Pb foi extraído com resina aniônica BioRad X8 condicionada em HBr e, após secar, foi misturada a sílica gel e ácido fosfórico e depositada em filamento de Re e quantificado num espectrômetro de massa com ionização térmica (TIMS), com multicoletor VG Sector 54. A intensidade do feixe para ^{208}Pb foi 2V. Com base em múltiplas análises de um padrão de Pb (NBS-981), os resultados foram corrigidos para 0.12% de unidade de massa atômica de fracionamento de massa.

RESULTADOS

Características gerais Segundo Latrubesse e Franzinelli (2002), os sedimentos dos terraços fluviais são resultantes da avulsão do Solimões durante o Holoceno. Eles ocorrem em cota inferior a 40 m e formam escarpas com até 8m de altura nas margens dos rios. Essas escarpas são compostas por material oxidado, friável, argilo-arenoso, cinzento na base e variegado, em geral avermelhado e amarelado e às vezes amarelo esbranquiçado para o topo (Fig. 2). Localmente, ocorrem pi-

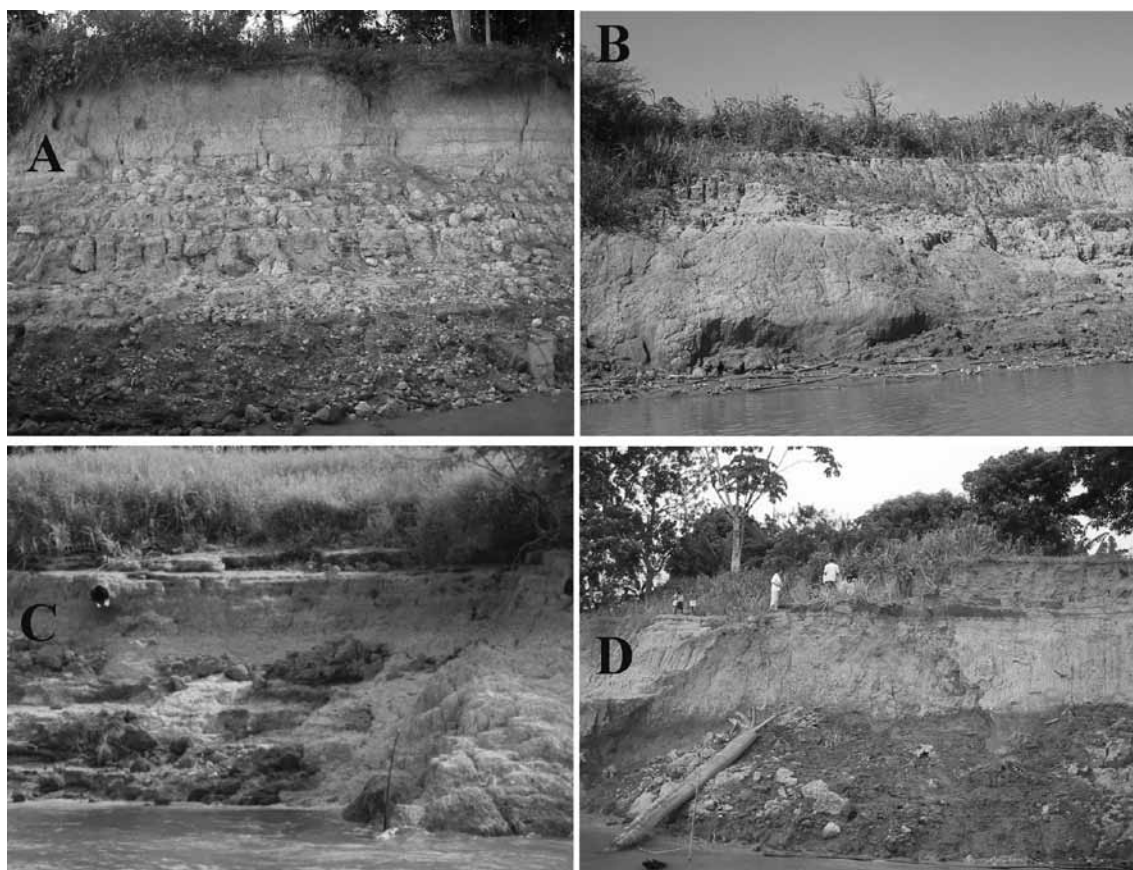


Figura 2 - Exemplo dos pacotes de sedimentos dos terraços fluviais (A e B) e das várzeas do rio Solimões (C e D).

sólitos ferruginosos marrom avermelhados, subarredondados a subangulosos com até 0,3 cm de diâmetro. Há incipiente processo de pedogênese no topo da camada.

As várzeas correspondem ao material depositado atualmente nas margens dos rios Solimões e Purus (Fig. 2) e normalmente recobrem, nas margens dos rios, os sedimentos dos terraços fluviais. Têm composição argilosa a argilo-siltosa, são ricos em restos vegetais, variam de marrom-acinzentados a cinza. Para o topo tornam-se mais areno-argilosos, possuem manchas difusas amareladas, localmente avermelhadas associadas à surgência de água do lençol freático.

A composição mineralógica dos terraços fluviais e das várzeas é similar, ambos são constituídos por quartzo e caulinita como minerais principais, com illita, muscovita, montmorilonita, feldspato potássico e plagioclásio subordinados.

Composição química Os materiais que compõem os terraços fluviais e as várzeas têm conteúdos médios elevados de SiO₂ e Al₂O₃ dentre os constituintes maiores e de Zr e Ba dentre os elementos-traço. Com relação aos álcalis, K₂O e MgO são em geral mais elevados. As várzeas se diferenciam dos terraços fluviais pelos conteúdos mais elevados em elementos móveis (álcalis, Ba, Rb, Sr, V, Cu, Zn, Ni, Co, Y e ETRL) (Fig. 3). TiO₂, P₂O₅, Pb, Th e U são similares em ambos os sedimentos (Fig. 3). As razões SiO₂/Al₂O₃ entre 2 e 11 nos terraços fluviais e 3 e 6 nas várzeas, muito mais elevadas que a da caulinita (1,17) indicam maior conteúdo de quartzo em relação aos argilominerais, especialmente nos terraços (Tab. 1).

Quimicamente são compatíveis com o campo dos folhelhos e das areias segundo o diagrama de Herron (1988) (Fig. 4). O índice CIA, que estabelece o seu grau de intensidade do intemperismo na fonte dos sedimentos (Nesbitt & Young 1984), demonstra que os sedimentos dos terraços fluviais são quimicamente mais

maturados (média de 91) que os das várzeas (média de 81) o que se reflete na sua maior oxidação e no maior conteúdo de quartzo (Tab. 1). Entretanto não há, ao longo das camadas, aumento de maturidade para o topo.

As razões médias de Zr/Sc (53 e 27 respectivamente dos terraços fluviais e várzeas), Zr/Th (35 e 24), Zr/Ba (2,82 e 1,16), Rb/Sr (1,26 e 0,61), Th/Sc (1,34 e 1,0), Th/U (3,87 e 3,58), Th/Pb (1,25 e 1,03) e U/Pb (0,33 e 0,29) são mais elevadas nos terraços que nas várzeas, especialmente as três primeiras (Tab. 1). As razões dos ETR La_N/Yb_N (6,3 e 7,5) e Gd_N/Yb_N (0,9 e 1,3) normalizados em relação aos condritos, sistematicamente mais elevadas nas várzeas, também diferenciam estas dos terraços fluviais (Tab. 1).

Para medir a diferenciação química entre os terraços fluviais e as várzeas foi utilizada a composição média da fração sólida que é erodida dos continentes, que corresponde a composição da crosta superior e é representada pelos sedimentos terrígenos pós-arqueanos australianos (PAAS) de Taylor & McLennan (1985). Os terraços têm marcantes anomalias negativas em álcalis e Ni (razão <0,1) e positiva de Zr e as várzeas têm padrão mais horizontalizado e similar ao PAAS (Fig. 5). Somente uma amostra da várzea tem padrão similar aos terraços. Os ETR, em relação ao PAAS, têm padrão horizontalizado com leve empobrecimento nos ETRL mais acentuado nos terraços, enquanto as várzeas são quimicamente mais homogêneas e semelhantes ao PAAS (Fig. 5).

A consolidação dessa diferenciação química entre os terraços fluviais e as várzeas é constatada na análise estatística multivariada por componente principal. Esta técnica, que possibilita avaliar a inter-relação existente entre as variáveis (parâmetros) e as amostras, gera fatores e escores que representam a variância dos dados (o grau de correlação ou significância). A análise multivariada abrangeu duas etapas: na primeira, obtiveram-se os escores de todas as variáveis (elementos

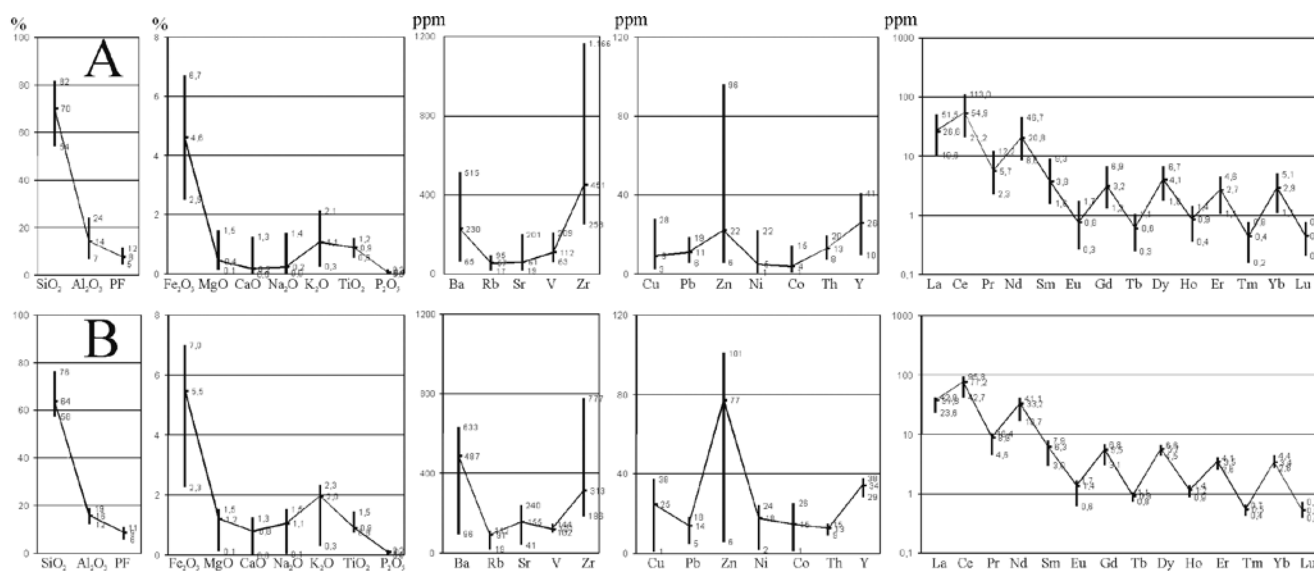


Figura 3 - Composição química média dos óxidos maiores e dos principais elementos-traço dos sedimentos dos terraços (no alto) e das várzeas (em baixo).

químicos). Posteriormente, SiO₂, MgO, CaO, Na₂O e K₂O, Cu, Pb, Zn, Ni, Ba, Co, Rb, Sr, Y e terras raras (ETRL+Gd, Tb, Dy, Ho), que tiveram variação superior a 0,7, foram selecionados para determinar os grupos quimicamente equivalentes. Com base nesses elementos, dos quais o SiO₂ com carga positiva e os demais negativa, foram definidos dois grupos de amostras que refletem a diferenciação geoquímica entre os terraços e as várzeas (Fig. 6). Interfaces entre os dois grupos, já revelada no fracionamento em relação ao PAAS, podem ser atribuídas a similaridades químicas pontuais.

Isótopos de Pb O Pb tem como fonte natural as rochas e, como fontes antropogênicas as emissões industriais e urbanas. Para que esse elemento seja aplicado como marcador da proveniência, ele tem que ter fonte genuinamente natural (Zhang *et al.* 2008). Para determinar sua fonte utiliza-se o fator de enriquecimento obtido com a equação 4:

$$FE = (Pb_a/Al_a)/(Pb_c/Al_c), \quad (4)$$

onde *a* corresponde ao valor na amostra e *c* na crosta continental, neste estudo foi utilizada a de Taylor & McLennan (1985) e Pb e Al correspondem ao teor desses elementos na amostra. Se FE for menor que 1,5 indica que sua fonte é natural e acima desse valor há aporte externo (Zhang *et al.* 2008). O fator de enriquecimento determinado para os terraços e as várzeas, variou entre 0,4 e 1,2 o que indica que o Pb contido é unicamente produto do intemperismo das rochas, portanto os isótopos desse elemento nos terraços e várzeas pode ser correlacionado a sua fonte.

A figura 7 mostra que apesar dos campos se superporem os terraços têm maior variabilidade isotópica que as várzeas e que estas são menos radiogênicas, especialmente com relação à ²⁰⁷Pb e ²⁰⁸Pb. Tanto os terraços como as várzeas são mais radiogênicas do que as vulcânicas terciárias do norte do Peru; se sobrepõem parcialmente aos campos dos complexos Olmos e Marañon; aos sedimentos Cretáceos de Hualgayoc provenientes do Complexo Marañon (Macfarlane & Petersen 1990) e aos da média do material em suspensão do rio Amazonas e do rio Solimões de Allègre *et al.* (1996). A média da crosta continental do rio Amazonas é mais elevada com relação à ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb, enquanto que com relação à ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb seus valores se sobrepõem. A média da crosta superior (UCC) de Asmeron & Jacobsen (1993) e da crosta antiga e nova de Kramers & Tolstikhin (1997), também se sobrepõem enquanto as razões dos depósitos de Pb, Zn, Ag e Cu (Kontak *et al.*, 1990) caem nas adjacências dos campos dos terraços fluviais e das várzeas.

DISCUSSÃO A composição química de sedimentos depende de vários fatores como rocha fonte, tipo e velocidade de transporte e ambiente de deposição. Deve ser considerado também o intemperismo na fonte do sedimento e o posterior a sua deposição. Ao longo do tempo geológico as características da rocha fonte podem mudar em função do grau de intemperismo e denudação de

modo a expor rochas com composições distintas. Todos esses fatores acarretam modificações nas características dos sedimentos ao longo da unidade sedimentar como pode ser observado neste estudo.

Dentre os elementos químicos, os conteúdos e as razões de Th, Y, Zr, Nb, Hf, Co bem como dos ETR e a sua normalização (Eu/Eu*, La_N/Yb_N, La_N/Sm_N, Gd_N/Yb_N) permitem determinar a fonte de sedimentos e correlacioná-los com a crosta continental, a crosta arqueana e com os principais grupos de rochas (ígneas máficas e félsicas) (Taylor & McLennan, 1985; McLennan & Taylor 1991; Hassan *et al.*, 1999; Cullers, 2000, Borges *et al.*, 2008). Pares de elementos como La/Sc, Th/Sc, Th/Yb, La/Th, Th/Co e Zr/Co também podem ser considerados, especialmente para determinar origem arqueana e pós-arqueana, pois à medida que a crosta evolui mais diferenciada (félsica) ela se torna, bem como o tipo de rocha fonte (Taylor & McLennan, 1985).

Variação na mineralogia e química dos sedimentos pode estar ligada ao processo de segregação dos minerais durante a sedimentação e a retenção de ETR em argilominerais mais complexos. Os minerais resistentes como zircão, titanita e monazita, que tendem a se concentrar nos materiais mais arenosos e intemperizados, influenciam mais diretamente nas razões Zr/Th, Th/U, Th/Pb, Th/Sc, Th/Yb, La/Th, Th/Co e Zr/Co. Por outro lado, o padrão geoquímico similar dos terraços e das várzeas indica que se houve segregação, esta afetou em igual grau cada um dos pacotes sedimentares. Outro fator a ser considerado no estudo de proveniência é a ausência de padrão geoquímico que indique lixiviação intensa como decréscimo de elementos móveis ao longo do pacote de sedimentos (por ex. álcalis, Sr, Rb, U), aumento de imóveis (por ex. Zr, Y, Sc) e ausência de anomalia de Ce (0,9 < Ce/Ce* < 1,2) ao longo do pacote de sedimentos. Essas características, que não foram observadas nos sedimentos estudados e também nas unidades mio-pleistocenas na região (Horbe *et al.* 2007), atestam que a lixiviação não foi suficiente para afetar drasticamente a concentração dos elementos como ocorre nos perfis lateríticos sobre as rochas mais antigas que estas na Amazônia (p. ex. Boulangé & Carvalho 1997, Costa 1997, Horbe & Costa 1999 e 2005, Kotschoubey *et al.* 2005). Desse modo pode-se negligenciar a segregação mineralógica e o intemperismo como fator controlador das características dos terraços e das várzeas. Isso permite utilizar a geoquímica na determinação das rochas fontes desses sedimentos.

Parte da variabilidade química entre os terraços e as várzeas está diretamente relacionada ao conteúdo de illita, muscovita, montmorilonita, feldspato potássico e plagioclásio. Estes, por terem maior conteúdo nas várzeas, como demonstram os teores mais elevados em álcalis, e se reflete no índice CIA mais baixo que nos terraços, indica que são provenientes de material mais maturo que as várzeas. Evidências de variações na fonte também são demonstradas nos padrões distintos quando normalizados em relação ao PAAS e pelas razões Th/U, U/Pb, La/Th, La/Sc, Th/Sc, Th/Yb, La/Th, Th/Co, Zr/Co mais elevadas nos terraços e de La_N/

Tabela 1 - Composição química dos perfis estudados, óxidos maiores em %, índice de intemperismo (CIA) e elementos-traços em ppm.

Horizontes	P1				P2				P3					P4		
	So	So	M	M	So	So	M	M	So	M	M	M	M	So	M	M
SiO ₂	74,47	78,5	54,24	63,73	81,23	67,44	70,28	67,52	81,58	72,02	71,16	70,22	78,41	63,24	64,66	64,51
Al ₂ O ₃	10,65	11,26	24,27	17,99	7,04	16,19	15,44	17,62	7,74	13,38	13,58	14,25	10,55	15,23	17,19	17,48
Fe ₂ O ₃	3,73	2,52	6,73	5,4	3,17	5,62	4,28	3,86	3,14	5,26	5,43	5,49	3,79	5,55	5,34	4,57
MgO	1,05	0,14	0,46	0,47	0,13	0,24	0,26	0,34	0,17	0,29	0,32	0,37	0,18	1,47	0,54	0,64
CaO	1,26	0,05	0,03	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	1,18	0,05	0,02
Na ₂ O	1,38	0,03	0,13	0,09	0,06	0,11	0,12	0,15	0,05	0,07	0,08	0,08	0,05	1,29	0,1	0,11
K ₂ O	1,64	0,26	1,38	1,04	0,38	0,74	1,12	1,57	0,53	0,86	0,9	0,99	0,71	2,14	1,34	1,63
TiO ₂	0,64	0,66	1,07	0,87	1,16	1,21	1,09	1,16	0,62	0,74	0,84	0,81	0,56	0,85	0,96	1,02
P ₂ O ₅	0,11	0,08	0,06	0,02	0,08	0,04	0,03	0,02	0,03	0,05	0,04	0,05	0,02	0,15	0,05	0,03
PF	4,8	6,4	11,6	10,3	6,6	8,2	7,3	7,7	6,1	7,3	7,6	7,7	5,7	8,7	9,7	9,9
C org	0,74	0,31	0,26	0,07	1,44	0,34	0,13	0,11	0,88	0,37	0,25	0,22	0,04	0,68	0,23	0,08
Total	99,79	99,98	99,99	99,98	99,91	99,81	99,94	99,97	100,01	100	99,99	99,99	100,01	99,9	99,96	99,94
CIA	71	97	94	94	94	95	93	91	93	93	93	93	93	77	92	91
Cu	13	4,9	7,5	15	2,7	4,3	4,2	4,5	6,6	8,0	9,7	11,2	4,1	27	11	14
Pb	7,2	6,2	14,3	18,7	7,6	8,9	9,9	9,7	5,8	10,9	11,2	12,2	12,7	15,4	12,3	16,3
Zn	53	6	12	14	6	12	10	8	11	18	18	24	16	96	25	26
Ni	13	1,1	2,0	2,4	0,9	1,6	1,0	1,0	3,4	5,0	4,8	6,3	6,1	22,0	5,8	6,1
Ba	411	65,4	275	182	97	185	263	335	131	165	176	220	179	515	219	257
Co	10	1,5	2,6	2,6	1,2	1,9	2,5	2,8	2	3,9	3,2	3,4	4,2	15	4,4	4,6
Rb	58	16	67	60	23	38	57	79	37	60	56	67	37	94	79	80
Sr	201	32	73	54	35	52	50	60	23	29	33	36	19	186	43	48
Th	12	12	19	20	11	17	17	17	8	11	11	13	8	10	12	14
V	90	97	209	176	70	113	106	122	63	98	95	106	69	113	127	134
Zr	416	528	311	555	1165	719	706	469	324	274	282	302	269	252	328	305
Y	28	14	25	28	41	36	33	36	13	17	17	20	10	34	24	40
Sc	8	5	14	14	5	12	11	12	6	10	11	11	7	13	12	14
U	3	3	4	4	4	4	4	4	2	3	3	3	2	3	4	4
Th/Sc	1,4	2,4	1,4	1,4	2,1	1,4	1,5	1,4	1,3	1,1	1,0	1,2	1,2	0,8	1,0	1,0
Th/U	3,8	4,0	4,8	4,9	2,7	4,2	4,1	4,2	3,9	3,6	3,6	4,4	4,2	3,3	2,9	3,6
Th/Pb	1,6	2,0	1,3	1,0	1,4	1,9	1,7	1,7	1,3	1,0	1,0	1,1	0,7	0,6	0,9	0,9
Zr/Sc	52	106	22	40	233	60	64	39	54	27	26	27	39	19	27	22
Rb/Sr	0,3	0,5	0,9	1,1	0,7	0,7	1,1	1,3	1,6	2,1	1,7	1,9	2,0	0,5	1,9	1,7
Zr/Ba	1,0	8,1	1,1	3,1	12,1	3,9	2,7	1,4	2,5	1,7	1,6	1,4	1,5	0,5	1,5	1,2
Zr/Th	36	44	16	28	110	43	43	28	42	25	26	23	32	26	28	22
U/Pb	0,4	0,5	0,3	0,2	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
La	29	19	39	40	22	27	27	30	11	17	17	20	13	37	28	52
Ce	59	35	69	83	45	53	55	59	21	37	40	43	31	77	59	113
Pr	6,75	3,35	7,27	8,75	4,93	5,76	5,81	6,23	2,34	3,56	3,73	4,08	2,83	8,58	5,44	12,19
Nd	26	11	24	31	19	20	20	24	9	13	14	14	10	33	18	47
Sm	4,8	1,8	3,9	5,9	3,4	3,6	3,6	3,9	1,6	2,3	2,3	2,6	1,8	6,7	3,3	9,3
Eu	1,21	0,32	0,74	1,23	0,64	0,72	0,69	0,95	0,27	0,38	0,45	0,50	0,32	1,44	0,69	1,74
Gd	4,14	1,47	2,74	4,04	3,98	3,53	3,44	3,81	1,41	1,77	2,04	2,08	1,34	5,07	3,09	6,91
Tb	0,73	0,29	0,54	0,80	0,79	0,77	0,70	0,81	0,29	0,37	0,39	0,42	0,25	1,03	0,57	1,07
Dy	4,38	2,12	3,60	4,67	6,30	5,20	5,21	5,55	2,24	2,77	2,58	3,25	1,77	5,32	3,52	6,73
Ho	0,96	0,45	0,80	0,96	1,43	1,19	1,09	1,24	0,47	0,57	0,61	0,68	0,36	1,07	0,79	1,23
Er	2,92	1,51	2,63	3,12	4,62	3,73	3,62	3,83	1,54	1,86	2,01	2,20	1,09	3,05	2,44	3,74
Tm	0,43	0,30	0,42	0,51	0,78	0,63	0,62	0,60	0,24	0,28	0,32	0,34	0,16	0,50	0,36	0,61
Yb	2,96	1,91	2,71	3,21	5,05	4,16	3,97	4,16	1,91	2,09	1,99	2,40	1,13	3,23	2,64	3,60
Lu	0,45	0,30	0,42	0,48	0,78	0,70	0,66	0,62	0,25	0,32	0,32	0,39	0,21	0,47	0,39	0,57
LaN/YbN	6,52	6,64	9,66	8,39	2,98	4,38	4,52	4,88	3,75	5,39	5,90	5,71	7,82	7,63	7,08	9,66
LaN/SmN	3,75	6,58	6,26	4,26	4,13	4,72	4,65	4,86	4,17	4,57	4,76	4,92	4,58	3,43	5,28	3,49
GdN/YbN	1,13	0,62	0,82	1,02	0,64	0,69	0,70	0,74	0,60	0,68	0,83	0,70	0,96	1,27	0,95	1,55
Ce/Ce*	0,14	0,21	0,13	0,13	0,17	0,15	0,16	0,15	0,24	0,22	0,22	0,20	0,26	0,13	0,18	0,11
Eu/Eu*	0,50	0,36	0,40	0,44	0,35	0,39	0,37	0,47	0,34	0,34	0,39	0,39	0,37	0,44	0,41	0,39
²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb		19,5273	19,1893	19,1473		19,1934	19,2110	19,1007		19,0221	19,0902	19,1372	18,8953	19,0820	18,9871	19,0051
% de erro		0,0234	0,0230	0,0229		0,0287	0,0230	0,0229		0,0228	0,0229	0,0229	0,0226	0,0228	0,0284	0,0228
²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb		15,7913	15,7766	15,7196		15,6890	15,7177	15,7452		15,6989	15,7063	15,7091	15,6701	15,6927	15,5418	15,7023
% de erro		0,0284	0,0283	0,02829		0,0353	0,0282	0,0283		0,0282	0,0282	0,0282	0,0282	0,0282	0,0349	0,0282
²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb		39,2651	39,3220	39,0895		39,5456	39,1400	39,2626		39,0201	39,0706	39,0646	38,8976	39,0324	38,5858	39,0488
% de erro		0,0942	0,0943	0,0938		0,1186	0,0939	0,0942		0,0936	0,0937	0,0937	0,0933	0,0936	0,1157	0,0937

Mo, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Se, Be, Cs, Ga, Hf, Nb, Ta, W com valores inferiores a 30 ppm e similares entre as amostras

Tabela 1 - Continuação

Horizontes	P5			P6			P7		P8			
	P4-1	P4-2	P4-3	M	M	M	M	M	So	M	M	M
SiO ₂	63,88	58,39	57,61	66,76	68,44	61,73	60,05	60,65	76,42	64,54	62,5	65,07
Al ₂ O ₃	15,38	18,5	18,95	13,84	13,45	15,73	17,77	16,79	12,38	15,02	16,03	14,83
Fe ₂ O ₃	5,74	6,18	5,82	5	5,01	7,02	5,81	6,22	2,27	5,44	5,72	5,51
MgO	1,41	1,33	1,53	0,98	1,2	1,49	1,27	1,43	0,13	1,39	1,24	1,1
CaO	1,13	0,66	0,72	0,53	1,25	1,12	0,82	0,95	0,01	1,04	0,75	0,74
Na ₂ O	1,34	0,99	0,97	0,72	1,54	1,31	1,08	1,25	0,05	1,34	1,07	1,16
K ₂ O	2,18	2,17	2,27	1,9	2,05	2,21	2,21	2,34	0,32	2,16	2,05	1,9
TiO ₂	0,84	0,92	0,92	0,99	0,76	0,85	0,89	0,87	1,45	0,83	0,86	0,78
P ₂ O ₅	0,13	0,07	0,09	0,08	0,13	0,17	0,1	0,17	0,02	0,16	0,1	0,08
PF	7,8	10,7	10,9	9,1	6,	8,2	9,9	9,1	6,9	7,9	9,5	8,6
Total	99,92	99,94	99,83	99,97	99,92	99,92	99,94	99,9	99,97	99,91	99,91	99,91
CIA	77	83	83	81	74	77	81	79	97	77	81	80
Cu	23	28	38	14	21	27	28	33	1,2	25	28	30
Pb	13	18	18	13	10	14	17	15	5	14	17	14
Zn	74	71	90	66	75	85	89	96	6	90	101	83
Ni	19	17	21	13	19	22	16	24	2	21	19	22
Hg	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,24	0,04	0,05	0,06
Ba	525	513	497	412	572	558	604	633	96	484	527	422
Co	15	13	12	18	15	17	11	18	1,4	16	16	26
Rb	87	99	103	99	85	101	109	112	19	96	99	78
Sr	189	137	150	97	240	209	152	176	41	185	138	144
Th	13	14	15	13	12	13	14	14	15	9	14	11
V	120	144	141	104	103	127	122	126	102	120	126	113
Zr	303	207	185	341	344	288	268	263	777	268	238	273
Y	35	31	33	38	32	37	32	38	36	36	29	36
Sc	13	15	16	12	11	14	15	15	8	13	13	12
U	3	4	4	4	3	3	4	4	4	3	4	3
Th/Sc	1,0	0,9	0,9	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9	1,8	0,7	0,8	0,9
Th/U	4,2	3,5	3,6	3,3	3,9	4,3	3,5	3,5	3,7	3,1	2,6	3,7
Th/Pb	1,0	0,8	0,8	1,0	1,2	0,9	0,8	0,9	2,9	0,7	0,6	0,8
Zr/Sc	23	14	12	28	31	21	18	18	97	21	18	23
Rb/Sr	0,5	0,7	0,7	1,0	0,4	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,7	0,5
Zr/Ba	0,6	0,4	0,4	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	8,1	0,6	0,5	0,6
Zr/Th	24	15	13	26	29	22	19	19	53	29	23	24
La	39	40	42	38	35	40	40	43	24	38	36	41
Ce	77	79	83	75	72	82	77	86	43	81	76	96
Pr	9,51	9,30	9,95	8,94	8,47	9,77	8,99	10,38	4,62	9,00	7,68	9,92
Nd	36	33	37	32	32	38	33	41	17	33	29	371
Sm	6,8	6,0	6,2	6,2	5,9	7,0	5,9	7,7	3,0	7,4	5,8	7,9
Eu	1,55	1,28	1,40	1,21	1,32	1,59	1,41	1,64	0,62	1,57	1,20	1,69
Gd	6,12	5,26	5,95	5,31	5,75	6,59	5,40	6,75	3,09	5,66	4,26	6,35
Tb	0,95	0,86	0,94	0,96	0,89	1,00	0,88	1,07	0,77	1,06	0,75	1,05
Dy	5,88	5,57	5,89	5,99	5,52	6,26	5,48	6,62	5,09	5,93	4,47	6,09
Ho	1,25	1,12	1,07	1,29	1,12	1,23	1,09	1,36	1,19	1,15	0,88	1,19
Er	3,72	3,21	3,46	3,96	3,32	3,84	3,41	3,77	4,07	3,22	2,63	3,34
Tm	0,56	0,52	0,48	0,63	0,51	0,63	0,54	0,59	0,65	0,52	0,44	0,50
Yb	3,39	3,03	3,31	3,68	3,46	3,58	3,30	3,63	4,39	3,46	2,76	3,30
Lu	0,51	0,49	0,50	0,58	0,51	0,57	0,52	0,56	0,73	0,52	0,40	0,48
LaN/YbN	7,73	8,84	8,56	6,91	6,81	7,49	8,14	7,96	3,63	7,37	8,73	8,32
LaN/SmN	3,59	4,17	4,27	3,83	3,72	3,57	4,25	3,50	4,95	3,22	3,88	3,24
GdN/YbN	1,46	1,40	1,45	1,17	1,34	1,49	1,32	1,50	0,57	1,32	1,25	1,56
Ce/Ce*	0,11	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,16	0,13	0,14	0,13
Eu/Eu*	0,45	0,43	0,44	0,39	0,43	0,45	0,47	0,42	0,40	0,44	0,43	0,44
²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	19,0283	19,0756	19,0452	19,0251	18,9687	19,0723	19,0695	19,0720	19,4411	19,0405	19,0648	19,0823
% de erro	0,0228	0,0228	0,0228	0,0228	0,0227	0,0228	0,0228	0,0228	0,0233	0,0228	0,0228	0,0228
²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	15,6935	15,7055	15,6928	15,7153	15,6725	15,7080	15,7402	15,6860	15,7243	15,7060	15,6949	15,6897
% de erro	0,0282	0,0282	0,0282	0,0282	0,0282	0,0282	0,0283	0,0282	0,0283	0,0282	0,0282	0,0282
²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	39,0646	39,0977	39,0396	39,1328	39,0851	39,0860	39,2003	39,0697	39,1669	39,1129	39,0570	39,0964
% de erro	0,0937	0,0938	0,0936	0,0939	0,0938	0,0938	0,0940	0,0937	0,0940	0,0938	0,0937	0,0938

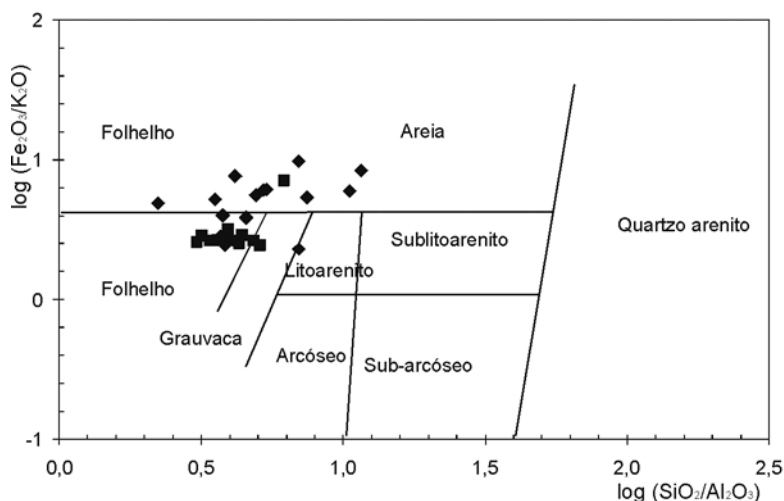


Figura 4 - Classificação dos sedimentos segundo diagrama de Herron (1988); \blacklozenge terraços fluviais e \blacksquare várzeas.

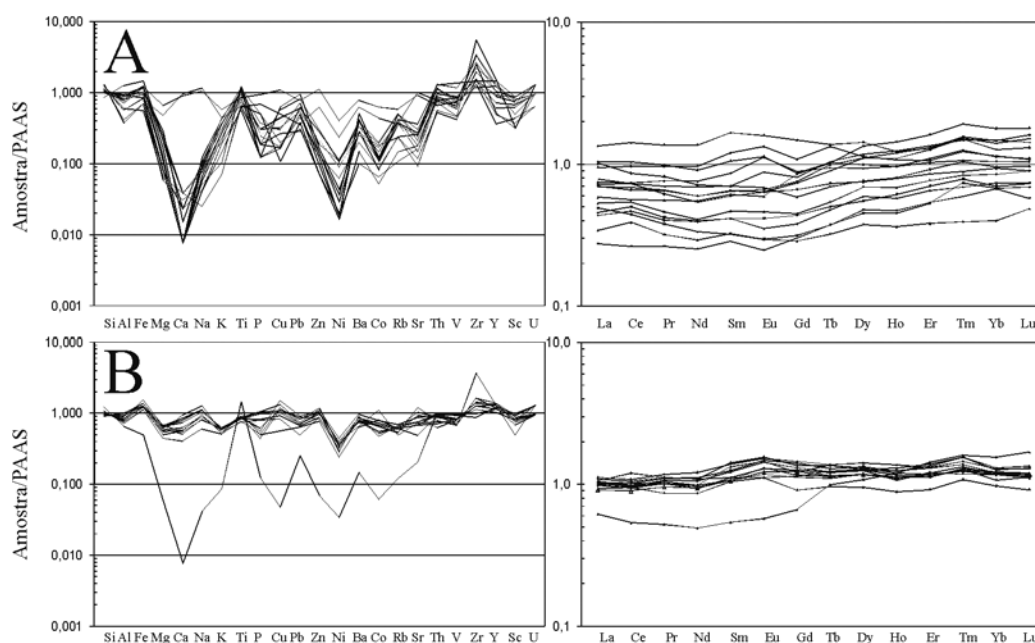


Figura 5 - Normalização dos óxidos maiores (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti e P em óxidos) e elementos-traço em relação ao PAAS de Taylor e McLennan (1985) dos terraços fluviais (alto) e das várzeas (em baixo).

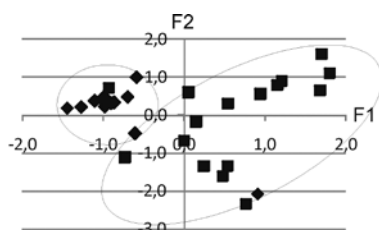


Figura 6 - Classificação dos sedimentos dos terraços fluviais (\blacklozenge) e das várzeas (\blacksquare) segundo os fatores 1 (F1) e 2 (F2) obtidos por análise de componentes principais.

Yb_N normalizados em relação aos condritos nas várzeas. Essas razões, usadas para inferir a proveniência de sedimentos (Taylor e McLennan, 1985; Tab. 2), indicam que os terraços têm maior contribuição de rochas félsicas que as várzeas (Fig. 8).

As razões isotópicas permitem identificar com maior detalhe as fontes. Os terraços e as várzeas são produto de mistura de fontes andinas e cratônicas. Contudo, o menor espalhamento das razões nas várzeas em relação aos terraços indica que houve diminuição no número de fontes fornecedoras dos sedimentos para as várzeas e estas eram menos radiogênicas com relação à ^{207}Pb e ^{208}Pb que são gerados pelo decaimento radioativo

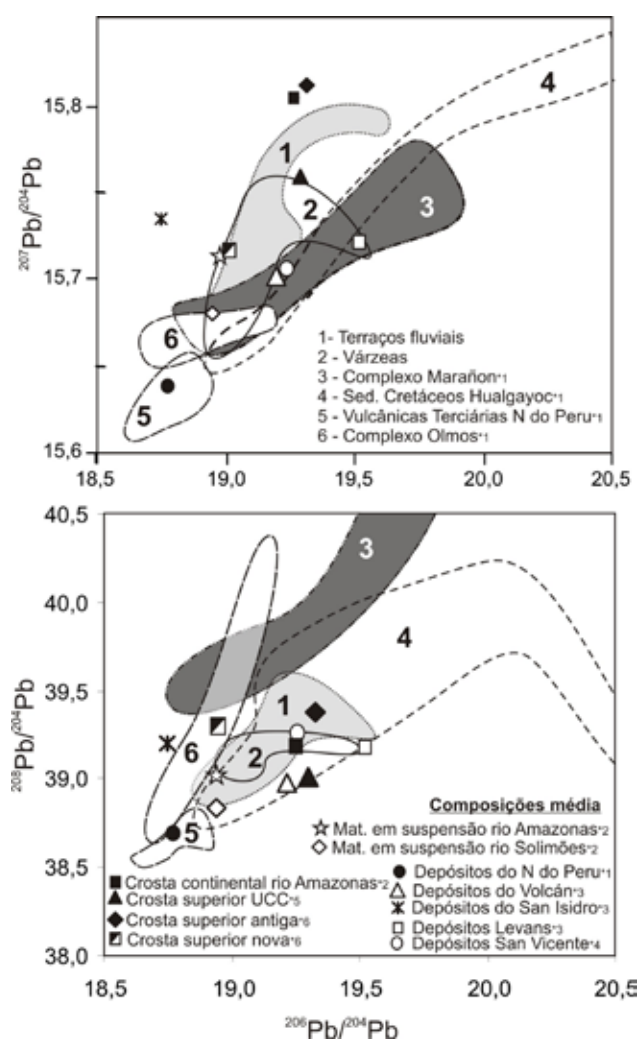


Figura 7 - Diagramas de correlações isotópicas de Pb. A) razões $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. B) razões $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (*1 = Macfarlane & Petersen 1990; *2 = Allègre et al. 1996; *3 = Kontak et al. 1990; *4 = Fontboté & Gorzawski 1990; *5 = Asmeron & Jacobsen 1993; *6 = Kramers & Tolstikhin 1997).

do ^{235}U e ^{232}Th respectivamente. Isso proporcionou padrão mais homogêneo nas várzeas. Outra possibilidade é que ao longo do tempo os sedimentos passaram a ter maior contribuição de fontes menos radiogênicas. As principais fontes, provavelmente, foram inicialmente os complexos pré-cambrianos Marañon e Olmos, granitos de idade permiana-triássica e os sedimentos cretáceos da região de Hualgayoc e da crosta continental do rio Amazonas que são unidades ricas em Zr e Th. O material das várzeas tem como fontes principais mais prováveis, a região andina do sul da Colômbia, do Equador, o foreland do sudeste do Peru, as rochas vulcânicas terciárias do norte do Peru e as regiões dos depósitos de Pb, Zn, Ag e Cu de San Vicente da região central e San Isidro, Levans e Volcán do sul do Peru (Fontboté & Gorzawski, 1990 e Kontak, et al. 1990). Aportes cratônicos são restritos, pois o rio Negro, proveniente do escudo das Guianas e os rios Madeira, e Tapajós, do escudo Brasil Central, estão a jusante da área estudada.

Estudo termocronológico combinado a estratigrafia com dados de traços de fissão em cristais de zircão e apatita na região de Guayaquil no Equador (Steinmann et al. 1999), demonstraram que nos últimos 15 Ma a compressão imposta pela convergência da placa de Nazca com a Sul Americana provocou transporte para leste de unidades litológicas da cordilheira oeste e exumação de até 6100 m. Isso teve como consequência o aumento nas taxas de erosão e exposição de rochas diversas, como ígneas ácidas, intermediárias e básicas, sedimentares e mesmo do embasamento metamórfico pré-cambriano.

Essas observações indicam que à medida que a cordilheira se desenvolve material mais máfico da base da crosta passa a ter maior contribuição na formação dos sedimentos. Esse fato explicaria a modificação na geoquímica dos sedimentos dos terraços e das várzeas do rio Solimões, contudo, a evolução climática da Amazônia também deve ter sua parcela de contribuição. Ao longo do Holoceno houve alternância para clima mais seco que o atual e, conseqüente modificação na cobertura vegetal e no nível dos oceanos (no último glacial o mar estava 120 m mais baixo que hoje) conforme in-

Tabela 2 - Razões de elementos e composição isotópica dos sedimentos dos terraços fluviais e da várzea em comparação com valores médios em diferentes ambientes geológicos.

	Terraços fluviais	Várzea	PAAS	UCC	Média da crosta continental do Amazonas	Sedimentos em suspensão do Solimões
Th/U	3,90	3,60	4,71	3,82	5,21	4,50
La/Th	2,04	3,03	2,60	2,80	3,48	2,94
La/Sc	2,63	2,91	2,38	2,21	12,62	2,75
Th/Sc	1,30	1,00	0,91	0,79	3,62	0,93
Eu/Eu*	0,40	0,43	0,66	0,65	0,31	
La_N/Yb_N	6,32	7,55	9,16	9,20	7,55	9,30
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	19,12	19,08		19,30	19,27	18,94
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	15,70	15,70		15,76	15,80	15,71
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	39,10	39,10		39,80	39,20	39,03

PAAS - Folhelhos Australianos Pós-arqueanos, UCC - crostas continental superior, dados de Taylor e McLennan (1985), Asmeron e Jacobsen (1993), Allègre et al. (1996) e Kramers & Tolstikhin (1997).

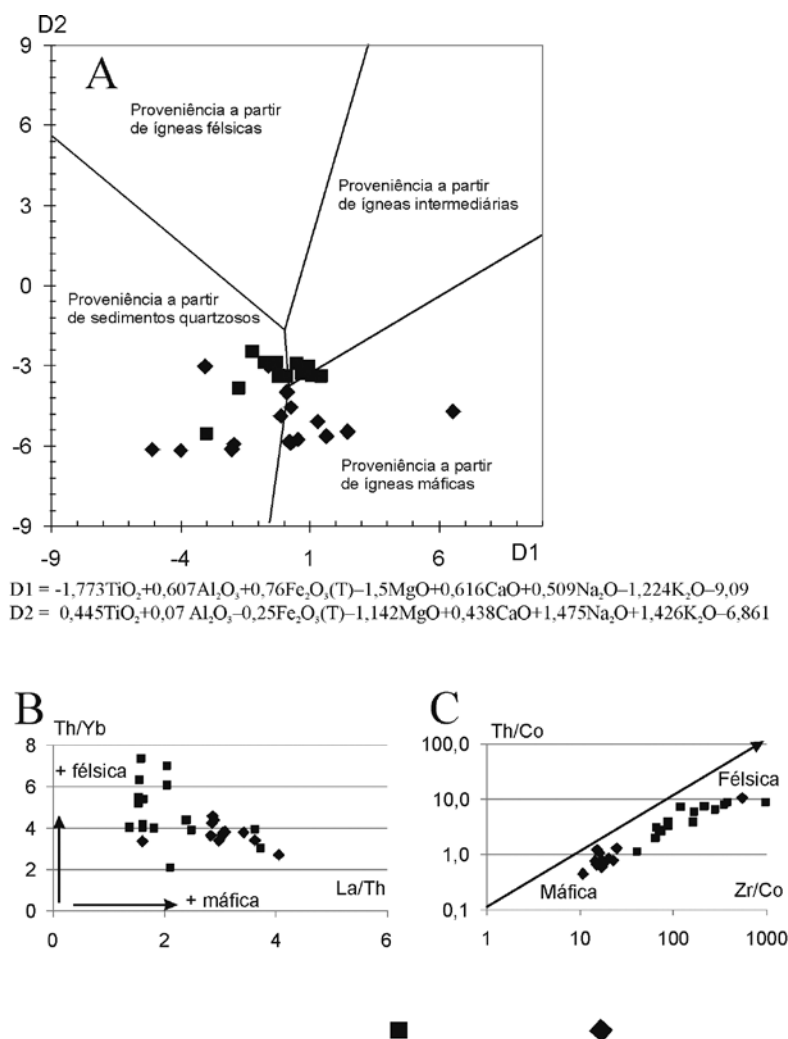


Figura 8 - Diagramas discriminantes de proveniência: A - de Rosser e Korsch (1988), B e C - de McLennan et al. (1980).

dicado por Van Der Hammen & Hooghiemstra (2000). Essa condição permitiria maior erosão e aporte de material mais diversificado, inclusive com maior contribuição félsica das áreas cratônicas da Amazônia. O índice CIA mais elevado nos terraços reforça a possibilidade de clima mais propenso a erosão e lixiviação que o atual. Esse fato explicaria a maior variabilidade química na fonte dos sedimentos dos terraços fluviais, enquanto as várzeas, consideradas produto da deposição dos sedimentos atuais transportados pelo Solimões, estão relacionadas ao clima quente e úmido com cobertura de floresta que dificulta a erosão mais intensa na bacia.

CONCLUSÃO Apesar de variações morfológicas e sedimentológicas nos sedimentos neógenos do oeste da Amazônia já terem sido identificadas por autores como Latrubesse e Franzinelli (2002) e Rossetti *et al.* (2005), os dados químicos, especialmente ETR, U, Th, Zr, Co permitem avançar na interpretação da sua proveniência e identificar a sua relação com a evolução geológica dos Andes.

O conjunto de dados mineralógicos e químicos dos terraços aluviais e das várzeas do rio Solimões en-

tre Coari e Manaus indicou que ao longo do Holoceno houve mudança na fonte dos sedimentos depositados nesses locais. Os terraços são provenientes de material mais maturo que as várzeas e sugerem fontes mais diversificadas, félsicas e radiogênicas e posterior contribuição mais máfica para as várzeas. As principais fontes dos terraços foram os Complexos Marañon e Olmos e os sedimentos cretáceos da região de Hualgayoc com contribuição da crosta continental do rio Amazonas. Com a evolução, as rochas vulcânicas terciárias do norte do Peru e as regiões dos depósitos San Vicente da região central e San Isidro, Levans e Volcán do sul do Peru passaram a ter maior contribuição no sedimento transportado pelo Solimões e depositado nas várzeas. A menor diversidade de fontes nas várzeas pode estar relacionada a questões climáticas mais úmidas e com cobertura de floresta que dificultaram a erosão e restringiram o aporte de sedimentos às zonas mais próximas das drenagens.

Agradecimentos Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas pelo apoio financeiro (processo no. 822/2003) e a Russel

Mappes e Drew Colemann do Department of Geological Science, University of North Carolina, USA pelas análises isotópicas.

Referências

- Allègre C.J., Dupré B., Négrel P., Gaillardet J. 1996. Sr-Nd-Pb isotope systematics in Amazon and Congo River systems: Constraints about erosion processes. *Chemical Geology*, **131**:93-112.
- Asmeron Y. & Jacobsen S.B. 1993. The Pb isotopic evolution of the Earth: inferences from river water suspended loads. *Earth and Planetary Science Letters*, **115**:245-256.
- Borges J.B., Huk Y., Moon S., Noh H. 2008. Provenance and weathering control on river bed sediments of the Eastern Tibetan Plateau and the Russian Far East. *Chemical Geology*, **254**:52-72.
- Boulangé B. & Carvalho A. 1997. The bauxite of Porto Trombetas. In: Carvalho A., Boulangé B., Melfi A.J., Lucas Y. (eds.) *Brazilian bauxites*. USP/FAPESP/ORSTOM, p. 55-73.
- Chiaradia M & Fontboté L. 2000. Geodynamic, tectonic and lithologic control on metal sources in Ecuadorian ore deposits. In: SGP, Congreso Peruano de Geología, 10, Lima-Peru, *Resúmenes*, Publicación Especial **2**:75.
- Costa M.L. 1997. Lateritization as major process of ore deposit formation in the Amazon Region. *Exploration Mining Geology*, **6**:79-104.
- Cullers R.L. 2000. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: Implication for provenance and metamorphic studies. *Lithos* **51**:181-203.
- Dupré B., Gaillardet J., Rousseau D., Allègre J. 1996. Major and trace elements of river-borne material: The Congo Basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**:1301-1321.
- Edmond J.M., Palmer M.R., Measures C.I., Gant B., Stallard R.F. 1995. The fluvial geochemistry and denudation rate of Guyana hills in Venezuela, Colombia, and Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59**:3301-3325.
- Fontboté L. & Gorzawski H. 1990. Genesis of the Mississippi Valley – Type Zn-Pb Deposit of San Vicente, Central Peru: Geologic and Isotopic (Sr, O, C, S, Pb) Evidence. *Economic Geology*, **85**:1402-1437.
- Gaillardet J., Dupré B., Allègre C., Négrel P. 1997. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. *Chemical Geology* **142**:141-173.
- Gibbs R.J. 1967. Geochemistry of the Amazon River system, parte I. The factor that control the salinity and composition and contraction of the suspended solids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **78**:1203-1232.
- 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*, **71**:340-356.
- Hassan S., Ishiga H., Roser B.P., Dozne K., Naka T. 1999. Geochemistry of Permian-Triassic shales in the Salt Range, Pakistan: implication for provenance and tectonism at the Gondwana margin. *Chemical Geology*, **158**:293-314.
- Herron M.M. 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, **58**:820-829.
- Hooghiemstra H. & Hammen T.V. der. 1998. Neogene and Quaternary development of the neotropical rain forest: the forest refugia hypothesis, and literature overview. *Earth-Science Reviews*, **44**:147-183.
- Hoorn C., Guerrero J., Sarmiento G.A., Lotente M.A. 1995. Andean tectonic as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America. *Geology*, **23**:237-240.
- Horbe A.M.C. & Costa M.L. 1999. Relações genéticas entre latossolos e crostas lateríticas aluminosas e aluminoferruginosas na região de Paragominas - Pará. *Revista Brasileira de Geociências* **29**:477-504.
- Horbe A.M.C. & Costa M.L. 2005. Lateritic crusts and related soils in eastern Brazilian Amazonia. *Geoderma*, **126**:225-239.
- Horbe A.M.C., Paiva M.R.P., Motta M.B., Horbe M.A. 2007. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari – AM. *Acta Amazônica*, **37**:81-90.
- 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*, **55**:483-504.
- Jaillard É., Hérail G., Monfret T., Díaz-Martínez E., Baby P., Lavenue A., Dumont J.F. 2000. Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and northernmost Chile. *Tectonic Evolution of South American*, Rio de Janeiro-Brazil, **1**:481-559.
- Konhauser, K.O., Fyfe, W.S., Kronberg, B.I. 1994. Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils. *Chemical Geology*, **111**:155-175.
- Kontak D.J., Cumming D.K., Clark A.H., Farrar E. 1990. Pb isotope composition, Cordillera oriental, southeastern Peru. *Economic Geology*, **85**:1584-1603.
- Kotschoubey B., Truckenbrodt W., Calaf J.M.C. 2005. Evolução Geológica da porção meridional da província bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (nordeste da Bacia do Grajaú, nordeste do Pará e extremo oeste de Maranhão). *Revista Brasileira de Geociências* **35**:263-272.
- Kramers J.D. & Tolstikhin I.N. 1997. Two terrestrial lead isotope paradoxes, forward transport modeling, core formation and the history of the continental crust. *Chemical Geology*, **139**:75-110.
- Latrubesse E.M. & Franzinelli E. 2002. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Geomorphology*, **44**:241-257.
- MacFarlane A.W. & Petersen U. 1990. Pb Isotopes of the Hualgayoc Area, Northern Peru: Implications for Metal Provenance and Genesis of a Cordilleran Polymetallic

- Mining District. *Economic Geology*, **85**:1303-1327.
- MacLennan S.M., Nance W.B., Taylor S.R. 1980. Rare earth element-thorium correlations in sedimentary rocks and the composition of the continental crust. *Geochemistry and Cosmochemistry Acta*, **44**:1833-1839.
- MacLennan S.M. & Taylor S.R. 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. *Journal of Geology*, **99**:1-21.
- Martinelli L.A., Vistoria R.L., Damatte J.L.I., Richey J.E., Devol A.H. 1993. Chemical and mineralogical composition of Amazon River floodplain sediments, Brazil. *Applied Geochemistry* **8**:391-402.
- Millot R., Gaillardet J., Dupré B., Allègre C.J. 2003. Northern latitude chemical weathering rates: Clues from the Mackenzie River Basin, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **67**:1305-1329.
- Nesbitt H.W. & Young G.M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of lutitis. *Nature*, **279**:715-717.
- Nesbitt H.W. & Young G.M. 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochemistry and Cosmochemistry Acta*, **48**:1523-1534.
- Potter P.E. 1997. The Mesozoic and Cenozoic paleodrainage of South America: a natural history. *Journal of South American Earth Science*, **10**:331-344.
- Rasanen M.E., Linna A.M., Santos J.C.R., Negri F.R. 1995. Late Miocenitidal deposits in the Amazon foreland basin. *Science*, **269**:386-390.
- Roser B.P. & Korsch R.J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major element data. *Chemical Geology*, **67**:119-139.
- Rossetti D.F., Toledo P.M., Góes A.M. 2005. New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. *Quaternary Research*, **64**:279-280
- Stallard R.F. & Edmond J.M. 1983. Geochemistry of the Amazon. 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *Journal of Geophysical Research*, **88**:9671-9688.
- Stallard R.F. & Edmond J.M. 1987. Geochemistry of the Amazon 3. Weathering chemistry and limits to dissolved inputs. *Journal of the Geophysical Research*, **92**:8293-8302.
- Steinmann M., Hungerbühler D., Seward D., Winkler W. 1999. Neogene tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fission-track approach. *Tectonophysics*, **307**:255-276.
- Taylor S.R. & McLennan S.M. 1985. *The continental crust its composition and evolution*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 312p.
- Van der Hammen T. & Hooghiemstra H. 2000. Neogene and Quaternary history of vegetation, climate, and plant diversity in Amazonia. *Quaternary Science Reviews* **19**:725-742.
- Weltje G.J. & von Eynatten H. 2004. Quantative provenance analysis of sediments: review and outlook. *Sedimentary Geology*, **171**:1-11.
- Zhang W., Feng H., Chang J., Qu J., Yu L. 2008. Lead (Pb) isotopes as tracer of Pb origin in Yangtze river intertidal zone. *Chemical Geology*, **257**:260-266.

Manuscrito ID 14307

Submetido em 16 de maio de 2009

Aceito em 03 de novembro de 2009