

Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães – Amazonas – Brasil

Maria Mireide Andrade QUEIROZ¹, Adriana Maria Coimbra HORBE², Patrick SEYLER³, Candido Augusto Veloso MOURA⁴

RESUMO

Este trabalho discute as características físico-químicas das águas dos rios Solimões, Purus e seus afluentes, coletadas em novembro de 2004 no Estado do Amazonas, entre as cidades de Manacapuru-Alvarães e Anamá-Pirarauara. Foram realizadas análises físico-químicas (temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), de elementos-traço (Li, B, Al, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, Pb, La, Ce e U) e isótopos de estrôncio. Os parâmetros analisados e a composição química mostram que as águas dos rios e igarapés da região central da Amazônia são quimicamente distintas entre si. As águas brancas do Solimões são cálcicas-bicarbonatadas e as do Purus bicarbonatadas, os respectivos afluentes são sódico-potássico-bicarbonatados e sódico-potássico-sulfatados. Isso acarreta águas brancas fracamente ácidas a neutras e mais condutivas, enquanto as pretas são menos mineralizadas, mais ácidas, especialmente as do Purus. O Ba, Sr, Cu, V e As mais elevados diferenciam as águas brancas do Solimões das do Purus, bem como os afluentes do primeiro em relação ao segundo. Esse conjunto de características indicam que tanto o Solimões, como o Purus e os respectivos afluentes, estão submetidos a condições geológicas/ambientais distintas. A influência do aporte de sedimentos dos Andes é diluída ao longo da bacia do Solimões e se reflete na formação das várzeas dos Solimões e Purus. Por outro lado as rochas crustais, representadas pelos escudos das Guianas e Brasileiro também contribuem, mas em menor proporção.

PALAVRAS CHAVE: Parâmetros físico-químicos, Afluentes do Solimões, Águas pretas, Isótopos de Sr, Diagramas de estabilidade.

The Solimões river hydrochemistry between Manacapuru and Alvarães – Amazonas – Brazil

ABSTRACT

The present study evaluated the physical and chemical characteristics of the water of the rivers Solimões, Purus and their tributaries, collected in November of 2004 in the State of Amazonas between the cities of Manacapuru and Alvarães and Anamá and Pirarauara. Physical-chemical analyses (temperature, pH, electrical conductivity, turbidity, Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), and trace-elements (Li, B, Al, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, Pb, La, Ce e U) and Sr isotopes were accomplished. The analyzed parameters and the chemical composition show that the waters of the rivers and tributaries of the central region of the Amazonia are chemically distinct between them. The white waters of Solimões are calcium-bicarbonate and of Purus are bicarbonates, and the respective tributaries are sodium-potassium-bicarbonate and sodium-potassium-sulphate. This causes the white poorly acid waters to the neutrals and more conductives, while the black ones are less mineralized, more acids, mainly of Purus. The Ba, Sr, Cu, V e As in highest levels differentiate the Solimões white waters of the Purus's waters, well as the tributaries of the first related to the second. This complex of characteristics indicates that the Solimões as the Purus and their respective tributaries are submitted to geological/ambiental distinct conditions. The influence of arrives in port of sediments of Andes is diluted at the currency of basin of the Solimões and it reflects on formation of fertile valleys Solimões and Purus. By another view, the crust rocks, represented by the Shields of the Guianas and Brasileiro both contribute, but in a reduced proportion.

KEYWORDS: Physical and chemical parameters, Tributaries of the Solimões and Purus, Black water, Isotopes of Sr, Diagrams of stability.

¹ Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geociências. Av. General Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000 - Japiim. CEP: 69077-000 Manaus, AM. e-mail: mireidequeiroz@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geociências. Av. General Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000 - Japiim. CEP: 69077-000 Manaus, AM. e-mail: ahorbe@ufam.edu.br

³ Université Paul Sabatier Institut de Recherche pour l'É Développement (IRD), Laboratoire des Mécanismes de Transfert en Géologie (LMTG), 38 rue des trente-six ponts, 31400, Toulouse. e-mail: seyler@unb.br

⁴ Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. Rua Augusto Correia, 1 - Guamá. CEP: 66075-110 Belém, PA. e-mail: candido@ufpa.br

INTRODUÇÃO

Os rios cujo, ambiente natural ainda está preservado, mostram relação entre a hidroquímica e o ambiente por onde percolam (p. ex.: Sioli & Klinge, 1962; Sioli, 1968; Gibbs, 1970; Stallard & Edmond, 1983, 1987; Junk & Furck, 1985; Viers *et al.*, 2000; Tosiani *et al.*, 2004; Berger & Forberg, 2006; Hren *et al.*, 2007). Alguns elementos podem ser relacionados diretamente com tipos de rochas, por exemplo Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr, HCO_3^- e SO_4^{2-} têm relação com carbonatos e gipsita; K^+ , B e Na^+ com illita; Si com bentonita e fontes termais; Na^+ e Cl^- com evaporitos; Fe e B com glauconita. Outros como U, PO_4^{3-} , F, NO_3^- , Ni, Cu e Zn não mostram essa mesma relação (Stallard & Edmond, 1983). Influências da vegetação são observadas nos rios de águas pretas que apresentam grande quantidade de matéria orgânica dissolvida, o que os torna mais ácidos (Sioli, 1985).

Sioli & Klinge (1962), pioneiros no estudo dos rios da Amazônia, os classificaram em três categorias: águas brancas, pretas e claras. As brancas são típicas dos rios Solimões, Amazonas, Madeira, Purus entre outros, possuem elevada quantidade de material em suspensão e sais dissolvidos provenientes dos Andes e da erosão dos sedimentos encontrados ao longo das bacias de drenagens. O pH é próximo a 7, são relativamente ricas em Ca^{2+} e HCO_3^- , o que as classificam como carbonatadas (Sioli, 1968; Konhauser *et al.*, 1994; Gaillardet, *et al.*, 1997). As águas pretas, cujo principal representante é o rio Negro, provém da drenagem dos escudos das Guianas e Brasileiro. Sua cor é resultado de substâncias fúlvicas e húmicas dissolvidas, têm altos conteúdos de Na^+ e K^+ , o que acarreta menor pH (4,0) que as brancas (Furch, 1984; Walker, 1987; Forti *et al.*, 1991). As claras (rios Tapajós e Xingu) são oriundas da Amazônia Central, que em virtude do relevo mais regular, oferece menor taxa de erosão. São límpidas, apresentam características químicas de transição entre os dois tipos anteriores e o pH varia entre 4,5 e 7,0 (Sioli, 1960; Stallard & Edmond, 1983).

Apesar dos rios Solimões, Amazonas e Negro já terem sido alvo de vários estudos, a influência da diversidade geológica e de ambientes na Amazônia (terra firme, várzeas, igapós e lagos) na composição química dos rios ainda é pouco conhecida. Estudos nos pequenos tributários dos grandes rios da Amazônia mostram que há relação direta entre o ambiente e a química das águas (Santos & Ribeiro, 1988; Cunha, 2000; Horbe *et al.*, 2005). Portanto, são eles que melhor permitem avaliar a influência do ambiente na sua composição. Com vista a contribuir nesse tema, foram selecionados afluentes dos rios Solimões e Purus no Estado do Amazonas, localizados na porção central do Amazonas (Fig. 1).

CONTEXTO FISIOGRAFICO E GEOLÓGICO

A cobertura vegetal é de floresta densa (Radambrasil, 1978). O clima na região é do tipo tropical quente e úmido, com temperatura média anual de 27° C, durante quase todo o ano, com sensível diminuição de amplitude térmica no período das chuvas. Geralmente, de junho a agosto, devido às freqüentes entradas de frentes frias de origem polar, ocorre o fenômeno denominado friagem com maior influência no oeste da Amazônia e relativa diminuição da temperatura durante poucos dias (Nimer, 1979). Embora as massas de ar sejam em geral secas, é uma região bastante úmida devido à alta taxa de evapotranspiração.

É relevante destacar o alto índice pluviométrico, com média de 2100 mm/ano, com o máximo de janeiro a maio quando tem-se o inverno regional e mínimo no verão amazônico de julho a outubro (Cáuper, 2000). A umidade relativa do ar é bastante elevada, apresenta nos meses mais chuvosos 80 a 90% e na estiagem atinge o mínimo de 75%. O relevo tem pouca influência no clima, pois a maior parte do território tem altitude inferior a 200 metros (Cunha & Appi, 1990).

As rochas sedimentares das Formações Solimões, Içá e sedimentos quaternários são as unidades geológicas que influenciam diretamente a química das bacias de drenagem dos afluentes dos rios Solimões e Purus, apesar da forte influência dos sedimentos em suspensão em grande parte provenientes da erosão dos Andes. A Formação Solimões é constituída de arenitos e siltitos de idade miocena de origem marinha (Nogueira *et al.*, 2003). Segundo Horbe *et al.* (2007) quartzo, caulinita, illita, hematita+goethita e muscovita são os minerais principais e na sua composição química predominam SiO_2 , Al_2O_3 seguidos de Fe_2O_3 , K_2O , CaO , MgO e Na_2O . Sobreposta ocorre a Formação Içá, se estende do alto Solimões até próximo a Manaus, é formada de arenitos e arenitos argilosos fluviais rosados e esbranquiçados, siltitos e argilitos friáveis amarelados, avermelhados, localmente ferruginizados que se assentam em discordância com a Formação Solimões (Maia *et al.*, 1977).

Os sedimentos quaternários são genericamente, divididos em Quaternário Antigo e Recente, representam respectivamente as planícies aluviais e ilhas/barras dos rios de água branca da Amazônia. Os depósitos sedimentares recentes da calha do rio Solimões-Amazonas são compostos por arenitos e siltitos constituídos de quartzo, caulinita, K-feldspato, plagioclásio, mica, hematita, fragmentos de rochas sedimentares (siltitos e arenitos), metamórficas (xistos) e vulcânicas, além de raros fragmentos de rochas carbonáticas (Franzlini & Potter, 1989).

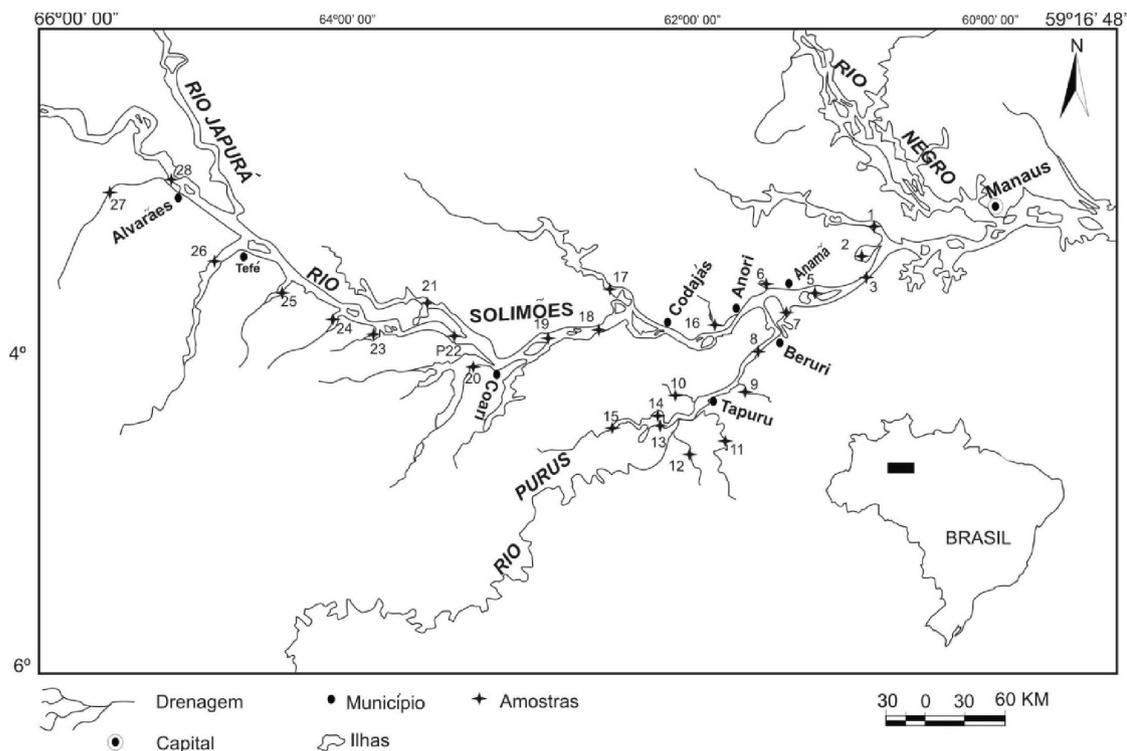


Figura 1- Mapa de localização das amostras coletadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas oito amostras de água ao longo dos rios Solimões e Purus e dezenove em seus principais afluentes na porção central do Amazonas em novembro de 2004, no fim do período de estiagem, quando o rio atinge seu nível mais baixo (Fig. 1). As amostras foram retiradas de jusante para montante, aproximadamente 15 centímetros de profundidade, coletadas em garrafas de polietileno de 1 L previamente desmineralizadas com solução de ácido nítrico (HNO_3) a 25% (v/v), lavadas com água deionizada e secas. Durante a amostragem os recipientes foram lavados três vezes com a própria amostra. No local da coleta foram analisados temperatura, pH, condutividade elétrica (potenciometria), turbidez (turbidimetria), HCO_3^- e Cl^- (titulometria) uma vez que esses parâmetros se modificam rapidamente. As amostras foram filtradas com membrana de celulose de 0,45 μm e submetidas a análises de SO_4^{2-} (fotometria) no laboratório de Geoquímica da Universidade Federal do Amazonas. As demais amostras foram acidificadas com HNO_3 bidestilado para posterior análise de Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Fe , Al , Zn , Mn , Ba , Sr , Cu , B , V , Cr , Co , As , Se e Sb (espectrometria via ICP-MS) no Laboratoire des Mécanismes de Transfert en Géologie (LMTG) – Université Paul Sabatier – Toulouse – França.

Os valores encontrados para $\delta^{87}\text{Sr}$, foram calculados com auxílio da fórmula: $\delta^{87}\text{Sr} = \left\{ \left[\frac{(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_a}{(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{am}}} \right] - 1 \right\}$

x 1000 onde $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_a$ é a razão isotópica da amostra e $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{am}}$ é a razão isotópica da água do mar atual (0,70920). As análises foram realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica do Centro de Geociências da UFPA – Pará-Iso em Belém.

Os resultados foram submetidos à análise estatística multivariada por componentes principais (Statística 6.1) com o objetivo de reduzir os parâmetros analisados (variáveis) e as amostras a um conjunto mais significativo. Esta técnica, que possibilita avaliar a inter-relação existente entre as variáveis (parâmetros) e as amostras, gera fatores e escores que representam à variância dos dados, ou seja, o grau de correlação ou significância. A análise multivariada abrangeu duas etapas: na primeira, obtiveram-se os escores de todas as variáveis; posteriormente, nos dois primeiros fatores, foram selecionadas aquelas maiores que 0,6 para determinar os escores das amostras, também nos dois primeiros fatores. Esses escores foram representados em gráfico para melhor visualização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PARÂMETROS FÍSICOS

As temperaturas das águas variaram entre 28,2 °C e 34,5 °C e não houve diferença em termos de cor, mas foi

observado que as coletadas entre às 10 e 16 horas apresentaram temperaturas acima de 30 °C (Tab. 1), em função da alta incidência da radiação solar.

As águas dos rios Solimões e Purus, classificadas como brancas, são fracamente ácidas a neutras (6,5 - 7,0), enquanto as pretas são as mais ácidas, especialmente as dos afluentes do rio Purus (entre 5,3 e 6,7), enquanto as dos afluentes do Solimões tendem a ser mais básicas (5,9 - 7,2) assemelhando-se as brancas destes (Tab. 1). A maior acidez nas águas pretas, conforme relatado por diversos autores (Sioli & Klinge, 1962; Sioli, 1968; Thurman, 1985; Starllard & Edmond, 1987), é devido à decomposição da matéria orgânica do solo em ácidos orgânicos (ácidos húmicos e fúlvicos), que são lixiviados para as águas. Esses ácidos, que têm em sua estrutura grupos carboxílicos (-COOH) e hidroxílicos (-OH), se dissociam e

liberam na água íons H⁺, o que reduz o pH do meio. O pH das águas dos rios da Amazônia também tem relação, até certo grau, com o ambiente geológico (Starllard & Edmond, 1987), pois os minerais silicatados influenciam, juntamente com as espécies de CO₂, as reações do meio aquoso e conferem forte poder de tamponamento nas águas. Portanto, enquanto a matéria orgânica tende a acidificar a água, a geologia e os sedimentos em suspensão contribuem para manter o pH próximo a neutralidade, pois a dissolução dos silicatos por hidrólise consome íons H⁺ e eleva o pH das águas.

A condutividade elétrica é mais elevada na águas brancas do rio Solimões (média 98,8 µS cm⁻¹), seguida pelo Purus (49,30 µS cm⁻¹) e pelas águas pretas dos afluentes dos rios Solimões (35,3 µS cm⁻¹). As menos condutivas são os afluentes do Purus (26,2 µS cm⁻¹) (Tab. 1).

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos das águas analisadas.

Ptos	Local da Coleta	Temp°C	pH	C.E. µS/cm	Turb. NTU	Ca ²⁺ mg L ⁻¹	Na ⁺ mg L ⁻¹	K ⁺ mg L ⁻¹	Mg ²⁺ mg L ⁻¹	Σ ⁺ meq L ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ mg L ⁻¹	Cl ⁻ mg L ⁻¹	Σ ⁻ meq L ⁻¹	
1	Afluentes do rio Solimões ÁGUA PRETA	Ig. Manacapuru	30,7	6,1	< 0,02	9	0,5	0,8	0,4	0,1	< 0,02	5,3	0,2	0,1	
2		Ig. Cabaliana	33,3	7,2	15,2	4	6,3	1,8	1,0	1,3	0,5	15,2	5,0	0,4	0,4
6		Ig. Anamá	30,8	6,9	25,2	8	9,0	2,8	1,0	1,3	0,7	25,2	5,4	0,8	0,6
16		Ig. Anori	32,9	6,3	10,1	15	4,0	1,8	0,9	0,6	0,4	10,1	8,8	0,5	0,4
17		Ig. Badajós	31,1	6,4	6,3	3	1,9	2,0	0,8	0,5	0,3	6,3	5,0	0,7	0,2
20		Ig. Coari	29,6	6,5	5,1	4	0,6	1,5	1,3	0,3	0,2	5,1	3,7	0,4	0,2
21		Ig. Copeá	29,5	6,4	12,6	12	5,6	1,8	0,9	0,9	0,5	12,6	6,4	0,2	0,3
23		Ig. Ipixuna	31,9	6,2	3,5	10	0,7	1,7	1,4	0,3	0,2	3,5	5,0	0,2	0,2
24		Ig. Catuá	31,0	6,7	5,1	7	0,8	1,4	1,6	0,4	0,2	5,1	5,1	0,6	0,2
25		Ig. Caiambé	32,3	6,1	0,02	3,6	7,2	1,2	1,3	0,3	0,5	0,02	3,8	0,5	0,1
26		Ig. Tefé	31,6	6,1	0,02	13	0,6	1,0	1,1	0,1	0,1	0,02	5,1	0,7	0,1
27		Ig. Alvarães	28,2	5,9	26,4	6	0,9	1,5	1,8	0,3	0,2	26,4	3,3	0,5	0,5
Média		---	31,1	---	9,1	7,9	3,2	1,6	1,1	0,5	0,3	9,1	5,2	0,5	0,3
9		Afluentes do rio Purus	Ig. Matias	32,2	5,9	< 0,02	7	0,3	0,5	0,5	0,1	< 0,02	3,9	0,5	0,1
10			Ig. Itapuru	32,3	6,7	< 0,02	10	N.A	1,7	0,9	N.A	0,1	< 0,02	5,9	0,7
11	Ig. Água Fria		33,8	5,5	< 0,02	18	0,5	0,6	0,8	0,1	0,2	< 0,02	7,1	0,4	0,2
12	Ig. Paricatuba		34,4	6,4	< 0,02	14	2,5	1,1	1,1	0,6	0,1	< 0,02	6,9	1,4	0,2
13	Iago Aiapuá		29,3	5,3	< 0,02	16	1,0	1,7	1,0	0,3	0,1	< 0,02	7,9	0,3	0,4
14	Iago Aiapuá		34,5	6,3	< 0,02	14	1,1	2,6	1,2	0,4	0,2	< 0,02	6,6	0,3	0,2
15	Iago Aiapuá	32,2	6,4	< 0,02	6	0,3	1,2	0,8	0,1	0,2	< 0,02	15,8	0,7	0,2	
Média	...	32,7	---	0,02	12,1	1,0	1,3	0,9	0,3	0,1	0,02	7,7	0,6	0,2	
3	ÁGUA BRANCA	Rio Solimões	30,1	6,6	86,0	20	8,2	2,7	1,0	1,3	0,7	20,0	5,7	0,5	0,5
5		Rio Solimões	29,3	7,0	92,8	19	9,0	2,8	0,7	1,3	0,7	19,0	6,8	0,3	0,5
18		Rio Solimões	29,8	6,8	94,0	21	9,5	3,0	1,1	1,2	0,7	21,0	8,4	0,2	0,5
19		Rio Solimões	29,6	6,5	94,7	24	9,9	3,0	1,1	1,2	0,7	24,0	7,0	1,0	0,6
22		Rio Solimões	28,9	6,7	103,3	29	11,9	3,2	1,3	1,5	0,9	29,0	6,3	0,8	0,6
28		Rio Solimões	29,2	6,7	122,4	37	13,6	3,3	1,3	1,7	1,0	37,0	8,6	0,5	0,8
Média		...	29,5	---	98,9	25	10,3	3,0	1,0	1,3	0,8	25,0	7,1	0,6	0,6
7		rio Purus	30,9	6,7	51,7	13	4,3	1,8	1,3	1,1	0,4	13,0	7,7	0,4	0,4
8		rio Purus	33,5	6,6	47,0	14	4,3	1,6	1,5	0,9	0,4	14,0	4,0	0,4	0,3
Média		...	32,2	---	49,3	13,5	4,3	1,7	1,4	1,0	0,4	13,5	5,8	0,4	0,3

Temp.: Temperatura; C.E.: Condutividade elétrica; Turb.: Turbidez; ig.: Igarapé; N.A.: Não Analisado. Limite de detecção dos elementos analisados na tabela 1: ≥ 0,02 mg L⁻¹.

PARÂMETROS QUÍMICOS

Na somatória da carga total dissolvida, com erro inferior a 3%, há predominância dos cátions sobre os ânions, especialmente no rio Solimões (4,7 meq L⁻¹), bem como nos seus afluentes (3,9 meq L⁻¹) quando comparados aos do Purus (1,0 meq L⁻¹) (Tab. 1). Segundo Appelo *et al.* (2005) a diferença no balanço de carga de 2% é inevitável e às vezes um erro de até 5% deve ser aceito.

A somatória dos cátions e de ânions é maior nas águas brancas, enquanto nas pretas é mais elevada nos afluentes do Solimões que nos do Purus e em ambos há tendência de aumento para montante (Tab. 1). Dentre os cátions, predomina o Ca²⁺ nas brancas e este se alterna com o Na⁺ nas pretas. Nas águas brancas esses dois cátions representam 64% da carga total, enquanto nas pretas perfazem 42% (Tab. 1). O HCO₃⁻ é o ânion mais abundante, exceto nos afluentes do Purus onde predomina SO₄²⁻ e HCO₃⁻ está abaixo do limite de detecção (< 0,02 mg L⁻¹) (Tab. 1). Nos afluentes do Solimões, também há exceções, no igarapé Manacapuru predomina o SO₄²⁻ seguido do Cl⁻.

ELEMENTOS-TRAÇO

Dentre os elementos-traço analisados (Li, B, Al, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, Pb, La, Ce e U) somente Fe, Al, Zn, Mn, Ba, Sr, Cu, B, V, Cr, Co, As, Se e Sb apresentam valores significativos, contudo há variações acentuadas (Tab. 2). O Fe é o elemento mais elevado (entre 53 µg L⁻¹ e 917 µg L⁻¹) sobre os demais, seguido do Al (entre 26 e 258 µg L⁻¹). Ambos representam pelo menos 68% da carga dos elementos-traço nas águas brancas e 81% nas águas pretas, contudo, somente o Al, mais elevado no Solimões, permite diferenciar este rio das demais drenagens analisadas (Tab. 2). Segundo Robison (1981) e Förstner & Wittmann (1983) os elevados teores de Fe e Al são atribuídos ao aumento nas condições oxidantes do ambiente, pois na época da coleta das amostras ocorreram chuvas esparsas, que podem ter aumentado o teor de oxigênio dissolvido e a quantidade de material em suspensão e alterado os processos de adsorção e co-precipitação dos elementos-traço.

Apesar das variações acentuadas de elementos-traço, é possível diferenciar os afluentes de águas pretas do Solimões dos do Purus (Tab. 1) pelo conteúdo, em geral mais elevado em Ba (4 a 53 µg L⁻¹) e Sr (6 a 35 µg L⁻¹) nos do Solimões, e de Mn nos afluentes mais a jusante deste (7 a 64 µg L⁻¹) e no Purus. Nas águas brancas a distribuição é mais homogênea e com o mínimo mais elevados em Mn (30 a 98 µg L⁻¹ no Solimões e 14 a 24 µg L⁻¹ no Purus), bem como Ba (37 a 55 µg L⁻¹ no Solimões e 34 a 35 µg L⁻¹ no Purus) e Sr (50 a 78 µg L⁻¹ no Solimões e 24 a 27 µg L⁻¹ no Purus). Esses elementos são mais elevados nas águas brancas que nas pretas (Tab. 1).

O Cu (0,9 a 12,7 µg L⁻¹), B (2,1 a 9,6 µg L⁻¹), V (0,4 a 3,0 µg L⁻¹) e As (0,2 a 1,5 µg L⁻¹) apesar das variações, especialmente do segundo, tendem a serem mais elevados nas águas do Solimões. Contudo, valores similares a estes ou mais altos de Cu são encontrados nos igarapés Cabaliana (12,7 µg L⁻¹) e Copeá (6,4 µg L⁻¹), afluentes do Solimões (Tab. 2). No rio Purus as concentrações desses elementos se assemelham às águas pretas, enquanto Zn, Cr, Co, Se e Sb quase não têm variações entre os tipos de águas.

Quando comparados aos valores máximos permitidos (CONAMA 357/05) constata-se que, apesar do Fe estar acima do máximo permitido (300 µg L⁻¹) na maioria das drenagens (Tab. 2), assim como o Al (200 µg L⁻¹), especialmente no ponto 22 (258 µg L⁻¹) do rio Solimões, as demais características se mantêm preservadas. Isso indica que não ocorreram modificações significativas nos seus ambientes naturais. Os teores de Fe e Al encontrados neste estudo estão na mesma unidade de grandeza que os de Gaillardet *et al.* (1997), Elbaz-Poulichet *et al.* (1998), Mortati & Probst (2003) e Seyler & Boaventura (2003).

COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DE ESTRÔNCIO

A razão isotópica ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e δ ⁸⁷Sr são mais elevadas nas águas brancas do rio Solimões (0,708861 a 0,714461 e -0,369 a 7,418 ‰) e as mais baixas no rio Purus. Os afluentes do rio Purus têm razões ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e δ ⁸⁷Sr entre 0,708685 a 0,713293 e -0,726 a 5,771 ‰, um pouco mais altas que os do rio Solimões (0,708674 a 0,710980 e -0,025 a 2,509 ‰) (Tab. 3). Destaca-se, ainda que a bacia do rio Purus é mais homogênea, com tendência a razões menores no canal principal, exceto nos igarapés Itapuru e Paricatuba. Os da margem esquerda dos afluentes do rio Solimões possuem ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr mais baixas que os da direita, exceto Ipixuna e Caiambé, que são similares ao canal principal. Ao longo do Solimões há tendência de redução da razão isotópica (de 0,714461 para 0,709098) para jusante.

Em relação à água do mar (0,709211 a 0,709241) as razões em geral, são mais elevadas (Fig. 4), exceto nos igarapés Manacapuru, Cabaliana, Anamá, Copeá, Ipixuna, Caiambé, Alvarães (afluentes do Solimões), Paricatuba (afluente do Purus) e parte do rio Solimões que são próximas da razão isotópica dos calcários (0,7082 - Allègre *et al.* 1996). Destaca-se que todas as amostras estão abaixo da razão isotópica dos rios Solimões (0,71319) e Negro (0,71698) de Allègre *et al.* (1996).

CLASSIFICAÇÃO E AMBIENTE GEOQUÍMICO

Com o diagrama de Piper (Fig. 2) foi possível classificar as águas do rio Solimões em cálcicas-bicarbonatadas e as do Purus em bicarbonatada, enquanto os seus afluentes de águas pretas, possuem tendência sódico-potássica-bicarbonatada e sódica-potássica-sulfatada, respectivamente. Essa tendência e a composição química como um todo das águas estudadas, é

Tabela 2 – Concentrações dos elementos-traços ($\mu\text{g.L}^{-1}$) da fração dissolvida das águas estudadas.

Ptos	Local da Coleta	Fe	Al	Zn	Mn	Ba	Sr	Cu	B	V	Cr	Co	As	Se	Sb	Σ
1	Ig. Manacapuru	84	58	49	7	4	6	2,1	2,6	0,6	0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	214
2	Ig. Cabaliana	408	N.A.	180	34	34	33	12,7	4,9	1,8	1,3	0,3	1,0	0,2	0,5	7127
6	Ig. Anamá	216	99	43	37	53	35	3,1	6,8	1,8	0,5	0,2	1,0	0,4	0,3	497
16	Ig. Anori	356	82	27	45	24	29	3,8	3,4	1,8	0,5	0,3	1,1	0,1	1,2	575
17	Ig. Badajós	189	27	11	24	19	17	3,0	3,6	0,8	0,3	0,2	0,7	0,1	0,4	296
20	Ig. Coari	238	51	15	7	9	12	1,0	3,2	0,6	0,5	0,1	0,2	N.A.	0,4	338
21	Ig. Copeá	677	188	39	64	32	32	6,4	4,6	2,0	1,5	0,6	1,0	N.A.	0,3	1048
23	Ig. Ipixuna	917	71	27	11	12	20	1,4	3,6	1,1	1,0	0,2	0,3	0,1	0,7	1066
24	Ig. Catuá	860	63	22	16	12	22	0,9	2,6	0,6	0,9	0,2	0,3	0,0	0,2	1001
25	Ig. Caiambé	293	52	29	9	9	18	1,3	2,4	0,6	0,7	0,2	0,2	0,1	0,3	416
26	Ig. Tefé	134	52	27	14	5	12	1,0	2,1	0,5	0,7	0,2	0,2	0,0	0,5	249
27	Ig. Alvarães	386	84	23	12	14	25	2,3	3,9	0,9	0,8	0,4	0,2	0,1	0,3	5539
Média	...	396,5	75,2	41	23,3	19	22	3,3	3,6	1,1	0,8	0,2	0,5	0,1	0,4	1530,5
9	Ig. Matias	108	51	32	12	2	7	1,7	2,2	0,4	0,5	0,3	0,2	0,1	0,2	218
11	Ig. Água Fria	667	128	25	15	2	10	2,1	3,0	1,2	0,7	0,5	0,3	N.A.	0,9	857
12	Ig. Paricatuba	532	96	25	64	15	30	2,1	3,2	1,2	0,8	0,6	0,7	N.A.	2,3	773
13	Iago Aiapuá	474	N.A.	29	43	8	18	3,1	5,2	1,2	0,6	0,5	0,6	0,7	0,5	584
14	Iago Aiapuá	367	71	22	28	15	17	2,1	6,5	1,0	0,6	0,3	0,6	0,2	0,4	532
15	Iago Aiapuá	429	N.A.	19	26	4	9	1,7	3,3	0,8	0,3	0,4	0,2	0,1	2,2	496
Média	...	429,5	86,5	25,3	31,3	8	15	2,1	3,9	1,0	0,6	0,4	0,4	0,2	1,1	577
3	rio Solimões	265	98	30	43	37	50	4,0	6,7	1,7	0,7	0,3	0,9	0,3	0,2	538
5	rio Solimões	195	121	26	30	37	55	3,9	9,5	1,7	0,7	0,3	1,0	0,5	0,2	482
18	rio Solimões	592	170	22	56	40	55	4,0	7,1	2,4	0,9	0,5	1,2	0,0	0,4	952
19	rio Solimões	547	156	25	74	45	57	5,1	7,2	2,4	1,6	0,2	1,2	0,1	0,8	923
22	rio Solimões	758	258	43	98	55	69	5,2	8,2	3,0	1,4	0,8	1,5	0,3	0,9	1302
28	rio Solimões	359	136	21	48	51	78	4,6	9,6	2,6	0,9	0,4	1,4	0,4	1,3	714
Média	...	453	157	28	58	44	61	4,5	8,0	2,3	1,0	0,4	1,2	0,3	0,6	818,5
7	rio Purus I	53	26	32	14	35	27	2,1	2,8	0,7	0,3	0,2	0,6	0,2	0,2	194
8	rio Purus II	152	54	29	24	34	24	1,8	2,8	0,9	0,7	0,2	0,6	0,1	0,8	325
Média	...	102,5	40	30,5	19	34,5	25,5	2,0	2,8	0,8	0,5	0,2	0,6	0,2	0,5	259,5

ig.: igarapé; N.A.: Não Analisado.

compatível com os registrados por Stallard e Edmond, (1983, 1987); Konhauser *et al.* (1994); Gaillardet *et al.* (1997); Küchler *et al.* (2000) e Seyler e Boaventura (2003) em rios similares da Amazônia.

Dentre os elementos químicos analisados, a estatística multivariada por componentes principais (CP) indicou, com base nas cargas mais elevadas ($\geq 0,6$) do primeiro fator que a condutividade elétrica, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ba, Sr, Cu, Sc, V e Co são as mais significativas para caracterizar as águas estudadas (Tab.4). Com base nessas variáveis, foram obtidos os escores das amostras e identificados grupos distintos. As águas pretas estão dispersas no segundo e terceiro quadrante e os igarapés Cabaliana (2) e Catuá (24) afluentes do Solimões, com valores negativos de CP1 e CP2, localizam-se no quarto quadrante (Fig. 3). O Solimões e Purus, localizados nos quadrantes 3 e 4 em consequência das cargas negativas do CP2, formam um grupo separado entre si e em relação a maioria das águas pretas, principalmente, devido a menor

condutividade, HCO_3^- , Ca^{2+} e Ba neste último (Fig. 3). A maior dispersão das águas pretas é indicativa da variabilidade dos ambientes percolados por essas águas (Stallard & Edmond, 1983), especialmente, os afluentes do Solimões, pois cobrem uma área maior que os do Purus (Fig. 1).

A relação entre as concentrações dos íons e isótopos nas águas de ambiente natural permitem inferir o tipo de rocha percolada e avaliar a mistura de águas que lixiviam regiões geologicamente distintas (Custódio & Llamas, 1976; Stallard & Edmond 1983; Faure, 1986). Dentre eles, Na^+ , K^+ e Cl^- são os mais representativos, pois são relativamente estáveis nas águas, facilmente analisados, têm tempo de residência mais elevada e não são afetados facilmente por variações nas condições de oxi-redução do ambiente, como o sulfato (Gibbs, 1970, Stallard & Edmond, 1983, 1987). Os valores encontrados nas razões iônicas (Na/Cl 0,60 - 21,0 e $(\text{Na}+\text{K})/\text{Cl}$ 2,35 - 30,72 meq/L respectivamente) indicam à interação com rochas clásticas psamíticas e pelíticas, típicas

Tabela 3 – Composição isotópica Sr nas águas estudadas.

Pontos	Local da Coleta		Razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	δ ^{87}Sr (‰)	Sr ($\mu\text{g L}^{-1}$)
1	ig. Manacapuru (E)	Afluentes do rio Solimões	0,709153±34	-0,066	5,51
2	ig. Cabaliana (E)		0,709013±16	-0,263	32,52
6	ig. Anamá (E)		0,709053±19	-0,207	35,05
17	ig. Badajós (E)		0,709399±41	0,28	16,63
20	ig. Coari (D)		0,710980±15	2,509	11,94
21	ig. Copeá (E)		0,709182±68	-0,025	32,46
23	ig. Ipixuna (D)		0,708961±01	-0,336	20,14
24	ig. Catuá (D)		0,710691±09	2,102	22,32
25	ig. Caiambé (D)		0,708674±09	-0,741	17,94
26	ig. Tefé (D)		0,710493±01	1,823	11,89
27	ig. Alvarães (D)		0,709067±19	-0,187	24,72
Média				0,709515±21	0,444
9	ig. Matias (D)	A. Purus	0,711244±58	2,882	7,4
10	ig. Itapuru (D)		0,710894±46	2,388	N.A
11	ig. Água Fria (D)		0,713118±62	5,524	9,85
12	ig. Paricatuba (D)		0,708685±63	-0,726	30,32
13	lago Aiapuá (D)		0,713293±43	5,771	18,27
14	lago Aiapuá (D)		0,711426±14	3,138	17,49
15	lago Aiapuá (D)	0,711347±60	3,027	8,77	
Média			0,711429±49	3,142	15,35
3	rio Solimões	ÁGUA BRANCA	0,708938±26	-0,369	50,2
5	rio Solimões		0,710659±38	1,93	55,15
18	rio Solimões		0,708861±64	-0,478	55,37
19	rio Solimões		0,710698±67	2,112	56,61
22	rio Solimões		0,709219±19	0,026	69,32
28	rio Solimões		0,714461±81	7,418	78,04
Média			0,710275±50	1,770	61,48
8	rio Purus (D)		0,711135±96	2,728	24,39
Média			0,711135±96	2,728	24,39

D.:direita; E.:Esquerda; N.A.: Não Analisado.

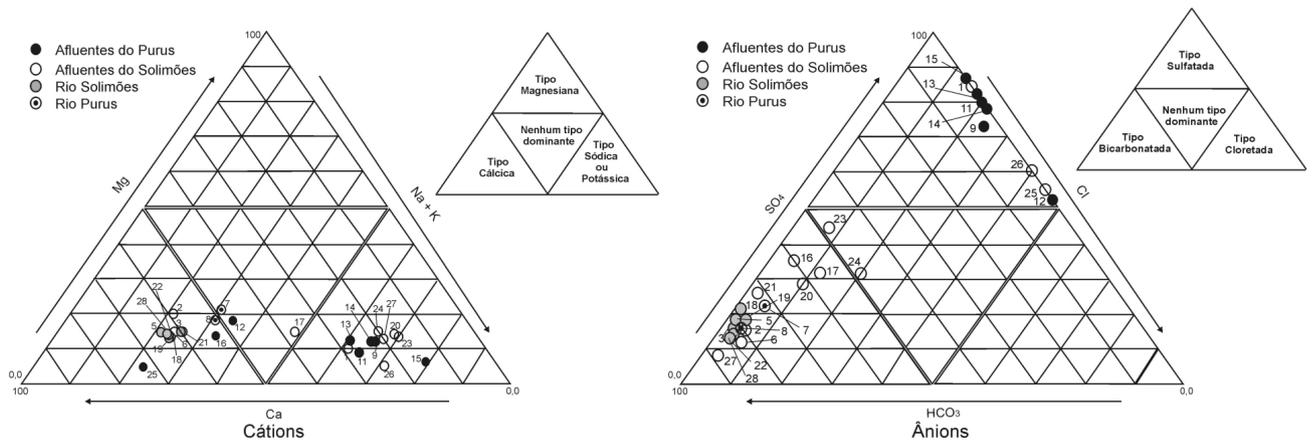


Figura 2 – Diagrama de Piper das águas estudadas.

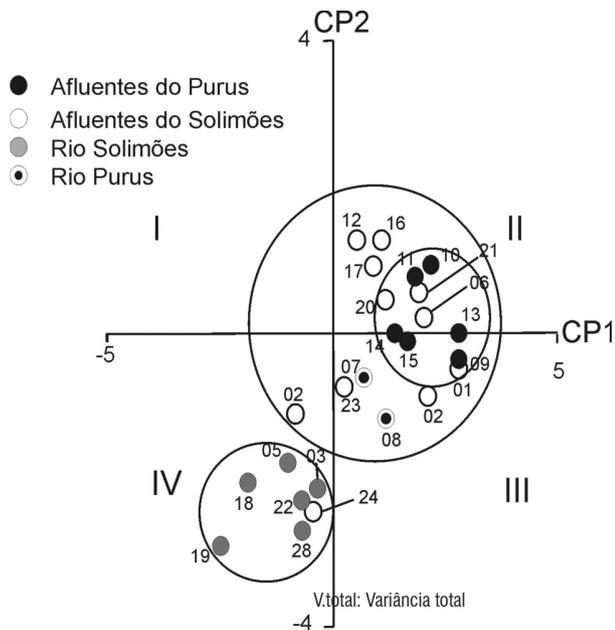


Tabela 4 - Análise de componentes principais das amostras de água.

Variáveis	CP1	CP2	Variáveis	CP1	CP2
pH	-0,14	0,66	B	-0,39	-0,22
C.E	-0,69	0,38	Sc	-0,79	0,31
Transp.	0,01	0,48	V	-0,68	-0,56
Ca ²⁺	-0,61	0,64	Cr	-0,40	0,57
Na ⁺	-0,46	0,15	Co	-0,65	-0,49
K ⁺	-0,57	-0,59	Ce	-0,31	-0,35
Mg	-0,92	0,25	La	-0,32	0,29
HCO ₃ ⁻	-0,92	0,25	U	-0,24	0,24
SO ₄ ²⁻	-0,75	0,18	As	-0,38	0,58
PO ₄ ³⁻	-0,65	-0,62	Mo	-0,23	-0,88
Cl ⁻	-0,64	-0,13	Cd	-0,19	0,09
Zn	0,21	0,04	Cs	-0,00	-0,10
Ba	-0,74	-0,19	Sb	-0,06	-0,60
Sr	-0,89	-0,17	Pb	-0,01	-0,19
Cu	-0,88	0,17	V.total	47%	24%

Figura 3 - PC1 versus PC2 das amostras de águas.

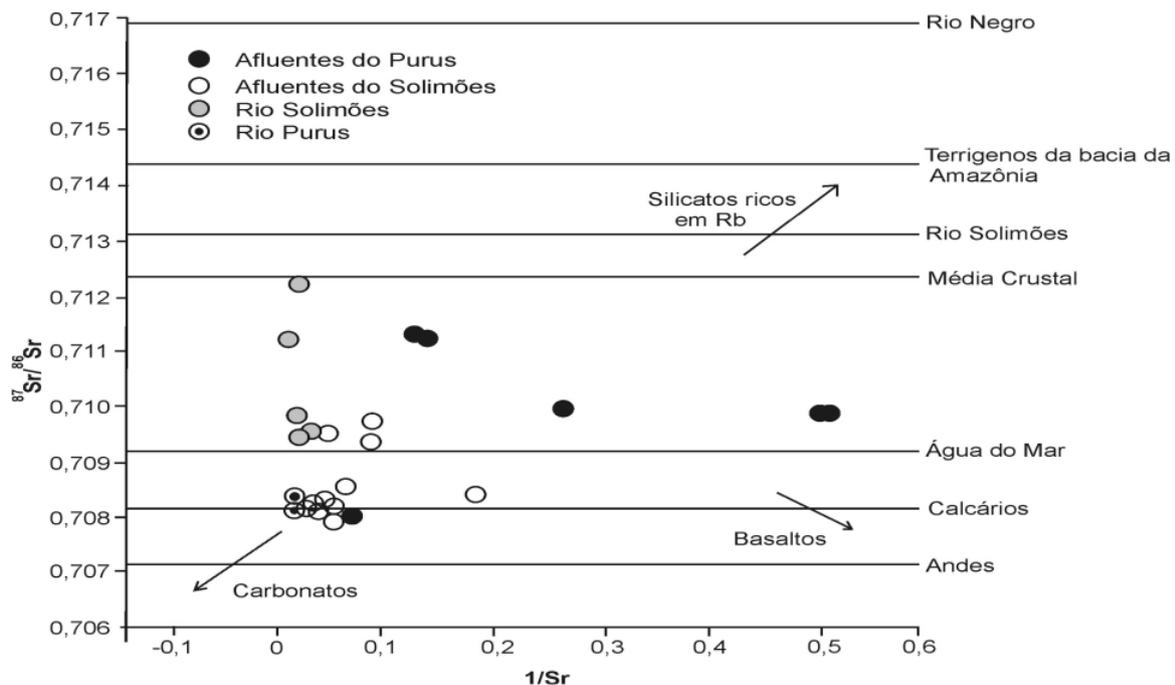


Figura 4 - ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr vs 1/Sr das amostras de água em relação a rochas e sedimentos (Henderson, 1984; Faure, 1988 e Allègre et al. 1996)

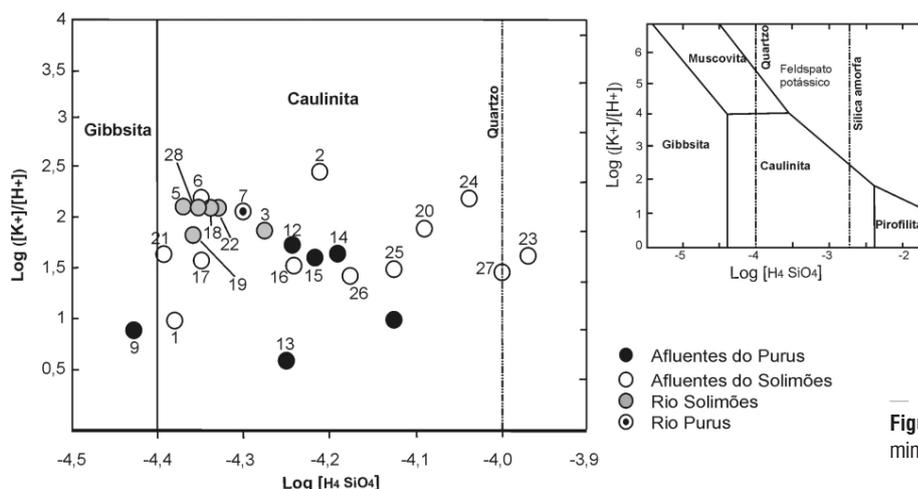


Figura 5 – Relação da estabilidade de alguns minerais no sistema $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ a 25°C.

da bacia do rio Solimões. Contudo, as variações encontradas indicaram que tanto o Solimões, como o Purus e os respectivos afluentes, estão submetidos a condições geológicas/ambientais distintas.

Outro modo de determinar a influência do ambiente geológico e os processos geoquímicos é por meio de diagramas de atividade que descrevem o equilíbrio químico entre minerais e soluções aquosas (Drever, 1997). O diagrama $\log [(K^+) / [H^+]]$ versus $\log [H_4SiO_4]$ (Fig. 5) elaborado para temperatura de 25°C mostra que as águas estão em equilíbrio com a caulinita e que são super saturadas em quartzo, minerais que predominam nos sedimentos da região (Franzini & Potter, 1989 e Horbe *et al.*, 2007). Isto indica ambiente lixiviante, submetido a alta pluviosidade, compatível com o observado na Amazônia.

CONCLUSÕES

Os parâmetros analisados e a composição química mostram que as águas dos rios e igarapés da região central da Amazônia são quimicamente distintas entre si. As águas brancas do Solimões são cálcicas-bicarbonatadas e as do Purus bicarbonatadas, os respectivos afluentes são sódico-potássico-bicarbonatados e sódico-potássico-sulfatados. Isso acarreta águas brancas fracamente ácidas a neutras e mais condutivas, enquanto as pretas são as mais ácidas. A somatória dos cátions e ânions é maior nas águas brancas e, conseqüentemente a condutividade, enquanto nas pretas essa relação é mais elevada nos afluentes do Solimões que nos do Purus. Dentre os parâmetros analisados, pH, condutividade, Ca^{2+} , Na^+ , K^+ e Fe são os mais significativos na identificação das características das bacias. Desse modo, o Solimões é marcado pelo maior teor de íons dissolvidos, especialmente Ca^{2+} e HCO_3^- , e os afluentes do Purus, por serem menos mineralizados, especialmente em direção a jusante. As águas pretas deste estudo, são distintas entre si e em relação ao rio Negro, possuem teores de elementos dissolvidos mais elevados que este, especialmente em álcalis.

Portanto, a carga química reflete o meio ambiente lixiviante com alta pluviosidade da Amazônia e indica a variabilidade do ambiente geológico e hidrológico em que estão situadas, uma vez que não foi constatada atuação antrópica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado do primeiro autor. Agradecem também a infra-estrutura do LMTG (Laboratoire des Mécanismes de Transfert en Géologie) – Université Paul Sabatier – Toulouse – França.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Allègre, C.J.; Dupré, B.; Nègre, P.; Guillardet, J. 1996. Sr-Nd-Pb isotopes systematics in Amazon and Congo river systems: Constrains about erosion processes, *Chemical Geology*, 131: 93-112
- Appelo, C.A.J.; Postma, D. 2005. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Balkema, Brookfield, USA, 4-18pp.
- Berger, L.; Forberg, B.R. 2006. Factors Controlling Hg levels in two predator fish species in the Negro River basin, Brazilian Amazon. *Science of the total Environment*, 367:451-459.
- Cáuper, G.C.B. 2000. *A influência das atividades de exploração de petróleo e os impactos ambientais e socioeconômicos na cidade de Coari*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 146pp.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2005. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF.
- Cunha, H.B.; Simões, C.A. 2000. Caracterização físico-químicas das águas do Rio Negro e seus tributários. In. *IX Jornada de Iniciação Científica*. Anais. Manaus- Amazonas, 325-329.
- Cunha, F.B.; Appi, V.T. 1990. Controle geológico na definição de grandes domínios ambientais na planície Amazônica. *Petrobrás/Cenpes*, 30-35.
- Custódio, E.; Llamas, M.R. 1976. *Hidrologia subterrânea*. Barcelona: Omega, 50pp.

- Elbaz-Poulichet, F.; Seyler, P.; Maurice-Bourgoin, L.; Guyot, J.L.; Dupré, C. 1998. Trace element geochemistry in the upper Amazon drainage basin (Bolivia). *Mineralogical Magazine*, 62: 418-423.
- Faure, G. 1986. *Principles of Isotope Geology*. New York, John Wiley & Sons, 589pp.
- Förstner, U.; Wittmann, G.T.W. 1983. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Berlin, Springer-Verlag, 486pp.
- Forti, M.C.; Melfi, A.J.; Amorin, P.R.N. 1991. Hidroquímica das águas de drenagem de uma pequena bacia hidrográfica no Nordeste da Amazônia (Estado do Amapá, Brasil): efeitos da sazonalidade. *Geochimica Brasiliensis*, 11(3): 311-340.
- Franzinelli, E.; Potter, P.E. 1989. Areias recentes dos rios da Bacia Amazônica: Composições Petrográfica, Textural e Química. *Revista Brasileira de Geociências*, 15: 213 – 220.
- Furch, K. 1984. *Water chemistry of the Amazon Basin: the distribution of chemical elements among freshwaters*. In: Sioli, H. (ed.). The Amazon Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Junk, Dordrecht: 167-169.
- Gaillardet, J.; Dupré, B.; Allègre, C.; Nègre, P. 1997. Chemical and Physical Denudation in the Amazon River Basin. *Chemical Geology*, 142: 141-173.
- Gibbs, R.J. 1970. Water chemistry of Amazon river. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 36:1061-1066.
- Drever, J.I. 1997. *The Geochemistry of Natural Waters Surface and Groundwater Environments*. Prentice Hall, 460pp.
- Hren, M.T.; Chamberlain, C.P.; Hilley, G.E.; Blisniuk, P.M.; Bookhagen, B. 2007. Major ion chemistry of the Yarlung Tsangpo–Brahmaputra river: Chemical weathering, erosion, and CO₂ consumption in the southern Tibetan plateau and eastern syntaxis of the Himalaya. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71:2907-2935.
- Horbe, A.M.C.; Gomes, I.L.F.; Miranda, S.A.F.; Silva, M.S.R. 2005. Contribuição à hidroquímica de drenagens no Município de Manaus – Amazonas. *Acta Amazônica*, 35:119-124.
- 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 – Amazonas. *Acta Amazônica*, 37: 81-90
- Junk, W.J.; Furch, K. 1985. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés na bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. *Acta Amazônica*, 10 (3): 611-633.
- Konhauser, K.O.; Fyfe, W.S.; Kronberg, B.I. 1994. Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils. *Chemical Geology*, 111:155-175.
- Külcher, I.L.; Miekeley, N.; Forsberg, B. 2000. A contribution to the chemical characterization of rivers in the rio Negro basin. *Journal of Brazilian Chemical Society*, 11:286-292.
- Maia, R.G.N.; Godoy, H.K.; Yamaguti, H.S.; Moura, P.A.; Costa, F.S.F.; Holanda, M.A.; Costa, J.A. 1977. *Projeto Carvão no alto Solimões*. Relatório Final, CPRM-DNPM, 137pp.
- Mortatti, J.; Probst, J.L. 2003. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon Basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. *Chemical Geology*, 197:177-196.
- Nimer, E. 1979. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Nogueira, A.C.R.; Arai, M.; Horbe, A.M.C.; Horbe, M.A.; Silveira, R.R.; Silva, J.S.; Motta, M.B. 2003. A Influência Marinha nos Depósitos da Formação Solimões na Região de Coari (Amazonas): Registro da Transgressão Miocênica na Amazônia Ocidental. *VIII Simpósio de Geologia da Amazônia*, sessão temática: Sedimentologia e Estratigrafia, CR-ROM.
- RadamBrasil. 1978. *Folha SB-20 Purus, Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra do Amazonas*.
- Robinson, G.D. 1981. Adsorption of Cu, Zn and Pb near sulfide Deposites by hydrous Manganese-iron Coatings on stream Alluvium. *Chemical Geology*, 33:65-79.
- Santos, U. M.; Ribeiro, M. N. G. 1988. A Hidroquímica do rio Solimões – Amazonas. *Acta Amazônica*, 18 (3-4): 145 – 172.
- Seyler, P., Boaventura, G.R. 2003. Distribution and partition of trace Metals in the Amazon Basin. *Hydrological Processes*, 1345-1361.
- Sioli, H. 1960. Pesquisas limnológicas na região da Estrada de Ferro de Bragança, Estado do Pará–Brasil. *Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte*, (37):1-73.
- Sioli, H.; Klinge, H. 1962. Solos, típicos de vegetação e águas na Amazônia. *Amazoniana*, 1:27-41.
- Sioli, H. 1968. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. *Amazoniana*,3:267-277.
- 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 of dissolved inputs. *Journal of Geophysical Research*, 92: 8293–8302.
- Thurman, E.M. 1985. *Organic Geochemistry of Natural Waters*. Boston, Martinus Nijhoffl Junk. 497 pp.
- Tosiani, T.; Loubet, M.; Viers, J.; Valladon, M.; Tapia, J.; Marrero, S.; Yanes, C.; Ramirez, A.; Dupré, B. 2004. Major and trace elements in river-borne materials from the Cuyuni basin (southern Venezuela): evidence for organo-colloidal control on the dissolved load and element redistribution between the suspended and dissolved load. *Chemical Geology*, 211:305–334.
- Viers, J.; Dupré, B.; Braun, J.; Deerd, S.; Angeletti, B.; Ngoupayou, J.N.; Michard, A. 2000. Major and trace element abundances, and strontium isotopes in the Nyong basin rivers-Cameroon: Constraints on chemical weathering processes and elements transport mechanisms in humid tropical environments. *Chemical Geology*, 169:211-241.
- Walker, I. 1987. The *biology of streams as part of Amazonian forest ecology*. *Experientiae*, 73:279-287.

Recebido em 14/07/2008
Aceito em 29/12/2008