

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**GEOQUÍMICA DA ÁGUA PRETA DE RIOS DO MUNICÍPIO DE  
APUÍ, AMAZONAS.**

**ANDERSON DA SILVA LAGES**

**MANAUS-AM  
2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ANDERSON DA SILVA LAGES**

**GEOQUÍMICA DA ÁGUA PRETA DE RIOS DO MUNICÍPIO DE  
APUÍ, AMAZONAS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências.

Área de concentração: Geologia Regional.

**Orientadora: Profa. Dra. Adriana Maria Coimbra Horbe**

**MANAUS-AM  
2010**

**ANDERSON DA SILVA LAGES**

**GEOQUÍMICA DA ÁGUA PRETA DE RIOS DO MUNICÍPIO DE  
APUÍ, AMAZONAS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências.  
Área de concentração: Geologia Regional.

**BANCA EXAMINADORA**

**Orientadora: Profa. Dra. Adriana Maria Coimbra Horbe  
Universidade Federal do Amazonas – UFAM**

**Prof. Dr. Sebastião Átila Fonseca Miranda  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA**

**Prof. Dr. Patrick Seyler  
Universidade de Brasília**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo milagre da Vida e das oportunidades;

À minha família, representada por minha mãe e minha avó, meu irmão e Rúbia, minha companheira de jornada;

À profa. Dra. Adriana Horbe, pela oportunidade de orientar-me e por toda vivência proporcionada nesses anos;

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), bem como, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por todo o incentivo;

Aos amigos Júlio Almeida, de Apuí, pelas coletas realizadas e Júlio Lombello da CPRM, pelos dados pluviométricos; e finalmente, ao matemático mais químico que conheço, Marcos Bolson, pela contribuição nas análises de cromatografia de íons.

Às amigas Antônia Pinto e Valdelice, do INPA, pela colaboração nas análises de sílica, bem como à Maria do Socorro Rocha e a Sebastião Átila Miranda, pelas orientações de tantos anos.

Aos amigos servidores do Departamento de Geociências Marcos e Lenir, pela solicitude e disposição;

À Mireide Queiroz, por compartilhar alegrias e dificuldades, sobretudo, no laboratório de Geoquímica;

Às alunas e amigas do Programa de Geociências, Fran e Dulce, pelo companheirismo durante o trabalho;

Aos alunos de graduação Júnior, Jerry, Tiago e Mirian, pela amizade e momentos de descontração; aos alunos de pós-graduação Moeme, Reginei, Ismael e Diego, pelas experiências mútuas;

E por fim, a todos, que certamente, de uma maneira ou de outra, contribuíram para a execução desse trabalho.

*“A coisa mais bela que podemos vivenciar é o mistério. Ele é fonte fundamental de toda verdadeira arte e de toda ciência. Aquele que não o conhece e não mais se maravilha, paralisado em êxtase, é como se estivesse morto: seus olhos estão fechados. Eu quero saber como Deus pensa. O resto... são detalhes.”*

*Einsten*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa geológico e de localização da área de estudo, em Apuí .....	15
Figura 2- Média pluviométrica de Apuí, entre os anos de 1998 e 2007 .....	20
Figura 3- Variação do pH, condutividade elétrica, DQO e turbidez .....	24
Figura 4- Comportamento dos íons ao longo do ciclo sazonal (2009-2010) .....	25
Figura 5- Correlação entre TDS e condutividade elétrica ao longo do ciclo sazonal.....	26
Figura 6- Variação percentual dos elemento-traço em Apuí .....	29
Figura 7- Normalização dos ETR em função dos condritos .....	32
Figura 8- Normalização dos ETR em função da crosta terrestre .....	32
Figura 9- Agrupamento de íons por análise de Cluster .....	33
Figura 10- Agrupamento dos locais de coleta por análise de Cluster .....	33
Figura 11- Cromatograma do rio Jatuarana na transição para a estiagem.....	36
Figura 12- Relação pH e Matéria Orgânica no mês de dezembro.....	36
Figura 13: Relação pH e condutividade elétrica para as águas de Apuí.....	37
Figura 14- Diagramas para classificação das águas .....	39
Figura 15- Diagrama de estabilidade (A) Na + K em função da SiO <sub>2</sub> e (B) em função dos TDS .....	40
Figura 16- Razões iônicas Ca/Na em função de Mg/Na.....	43
Figura 17- Normalização da concentração média de íons nos rios em função da nascente (A), da precipitação (B) e da crosta continental (C) .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Locais de coleta, coordenadas e largura dos rios .....	14
Tabela 2- Comportamento da condutividade elétrica indicando a variação em seis dias .....	19
Tabela 3- Comportamento do pH indicando a variação em seis dias .....	19
Tabela 4- Composição química da amostra de referência do INPA .....	19
Tabela 5- Média dos parâmetros analisados, condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período chuvoso (abril, outubro, novembro, dezembro e janeiro) .....	22
Tabela 6- Média dos parâmetros analisados, condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período de transição para a estiagem (maio).....	22
Tabela 7- Média dos parâmetros analisados, condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período de estiagem (junho, julho e agosto).....	23
Tabela 8- Média dos parâmetros analisados condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período de transição para chuvoso (setembro) .....	23
Tabela 9- Elementos-traço em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período chuvoso (dezembro).....	27
Tabela 10- Elementos-traço em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período de transição para a estiagem (maio).....	27
Tabela 11- Elementos-traço em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período de estiagem (julho).....	28
Tabela 12- Elementos-traço em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período de transição para o chuvoso (setembro).....	28
Tabela 13- ETR em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período chuvoso (dezembro).....	30
Tabela 14- ETR em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período de transição para a estiagem (maio).....	31
Tabela 15- ETR em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período de estiagem (julho).....	31
Tabela 16- ETR em $\mu\text{g}/\text{L}$ no período de transição para o chuvoso (setembro).....	31
Tabela 17- Associações químicas identificadas em cada período segundo a análise de agrupamento de Cluster, pelo método Ward e distâncias de 1-Pearson r.....	34
Tabela 18- Grupos de drenagens geoquimicamente similares identificados em cada período segundo a análise de agrupamento pelo método Ward com distâncias de 1-Pearson r.....	35
Tabela 19- Concentração dos elementos maiores em diversos rios do mundo ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ).....	35
Tabela 20- Ordem de abundância dos elementos dissolvidos.....	38

Tabela 21: Ordem decrescente da composição química dos íons e dos elementos-traço dissolvidos na água .....	38
Tabela 22-Razões de rochas reservatórios e águas segundo Gaillardet et al. (1997).....	40
Tabela 23: Composição química média dos rios, da nascente, da chuva e da crosta em $\mu\text{g/L}$ .....	41
Tabela 24-Composição média da águas das drenagens e da nascente subtraída à influência da água da chuva.....	42



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS .....	13
3. LOCALIZAÇÃO, HIDROGRAFIA, CLIMA E VEGETAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	13
4. JUSTIFICATIVA .....	15
4.1 Geologia da área .....	15
5. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
6.1 pH, Condutividade elétrica, Demanda Química de Oxigênio e turbidez.....	20
6.2 Ânions (Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> ), Cátions (Na, K, Ca, Mg) e Sílica .....	21
6.3 Elementos-traço .....	24
6.4 Elementos Terras-rara .....	26
6.5 Análise Estatística Multivariada .....	33
7. SÍNTESE DOS RESULTADOS .....	35
7.1 Origem dos elementos dissolvidos na água .....	40
8. REFERÊNCIAS .....	45
9. ANEXOS .....	48

## RESUMO

O presente estudo avaliou aspectos geoquímicos das águas pretas do município de Apuí, sudeste do Amazonas, com o objetivo de verificar o seu quimismo, a influência do ciclo hidrológico e da água da chuva e subterrânea na composição química dos rios. Foram efetuadas dez coletas mensais entre abril de 2009 e janeiro de 2010. Foram amostrados os rios Aripuanã, Jatuarana, Juma, Acari, Camaiú e Sucunduri, dois igarapés ao longo da BR-230 e uma nascente. Essas drenagens estão agrupadas em duas sub-bacias, a do Aripuanã e a Canumã-Sucunduri, inseridas na bacia do rio Madeira. Os resultados foram agrupados em quatro períodos sazonais: chuvoso, transição para estiagem, estiagem e transição para o chuvoso. Os íons maiores foram determinados por cromatografia de íons, os elementos-traço por ICP-MS e  $\text{SiO}_2$  por espectrofotometria. O pH, condutividade elétrica e turbidez foram determinados por métodos eletroquímicos. A DQO foi analisada por titrimetria de oxirredução com  $\text{KMnO}_4$ . As águas estudadas podem ser classificadas como silicáticas e potássicas e em todas as drenagens há predomínio de cátions sobre os ânions. A  $\text{SiO}_2$  é o constituinte mais abundante durante o ano, K é o segundo e predomina no período chuvoso, enquanto Ca na transição para o chuvoso. Dentre os elementos-traço, os mais concentrados são Fe e Al nas drenagens, exceto no período chuvoso, quando Zn é o mais concentrado. Na nascente,  $\text{NO}_3$ , Na e K predominam, mas entre os elementos-traço o mais concentrado é o Al, seguido pelo Fe. Contudo, na transição para a estiagem, o Cu é o segundo mais concentrado. Na análise de agrupamento, de modo geral, se identificou três grandes associações: uma controlada pela condutividade elétrica, com os íons maiores; a segunda é regulada pela pH e tem como íons principais  $\text{HCO}_3$  e  $\text{NO}_3$ ; a terceira, os elementos-traço Cu, Ni, Co, Pb e Zn. Contudo, cada período agrupa os elementos de modo distinto o que reforça a heterogeneidade da química das águas ao longo do ciclo hidrológico. Quanto à proveniência dos elementos, Cl, Al, Rb e Pb tem forte influência da rocha, Ca, Mg,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{HCO}_3$ , Fe, Zn, Sr e Ba representam a contribuição da vegetação e Na,  $\text{SO}_4$ , Cu e Ni estão relacionados à chuva. Na transição para a estiagem predomina a formação de gibbsita e na estiagem caulinita (exceto na nascente). Nos locais amostrados há afinidade com as rochas silicáticas do cráton, mas há indicativo de influência carbonática no Jatuarana e Sucunduri o que caracteriza afinidade deles com as águas brancas do rio Solimões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Apuí, Balanço de cargas; rios de água preta.

## ABSTRACT

The present study evaluated Geochemical aspects of the black waters in the municipality of Apuí, south-east Amazon, with the objective of verifying your chemism, the influence of the hydrological cycle and of the water from rain and subterranean in the chemical composition of the rivers. Ten monthly collections were made between April 2009 and January 2010. The rivers Aripuanã, Jatuarana, Juma, Acari, Camaiú and Sucunduri, two streams were sampled along the BR-230 and a spring. These drainages are grouped in two sub-basins, the Aripuanã and the Canumã-Sucunduri are inserted in the basin of the Madeira River. The results were grouped in four seasonal periods: rainy, transition to dry, dry and transition to rainy. The major ions were determined by ion chromatography, the trace element by ICP-MS and SiO<sub>2</sub> by spectrophotometry. The pH, electric conductivity and turbidity were determined by electrochemical methods. The DQO was analyzed by redox titrimetry with KMnO<sub>4</sub>. The Waters studied can be classified as Silicate and Potassium in all drainages and there is a predominance of cations over anions. The SiO<sub>2</sub> is the most abundant constituent during the year. K is the second and predominating in the rainy season, while Ca in the transition to rainy. Among the trace elements, the most concentrated are Fe e Al in the drainages, except in the rainy season, when Zn is the most concentrated. In the spring, NO<sub>3</sub>, Na e K predominate, but among the trace elements the most concentrated is the Al, followed by Fe, however, in the transition the dry season, Cu is the second more concentrated. In Cluster analysis are observed three large associations were identified: one controlled by electric conductivity, with the major ions; the second is regulated by pH and has as major ion HCO<sub>3</sub> e NO<sub>3</sub>; the last one presents the trace elements Cu, Ni, Co, Pb e Zn. However, each period groups the elements in different ways that reinforces the heterogeneity of the Chemistry of the water along the hydrological cycle. As for provenience of the elements, Cl, Al, Rb e Pb there is a strong influence of rock, Ca, Mg, SiO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub>, Fe, Zn, Sr e Ba represent the contribution of vegetation and Na, SO<sub>4</sub>, Cu and Ni are related to rain. In the transition to dry predominates the formation of gibbsite and in the kaolinite dry season (except in the spring). In the local sampled there is affinity with silicate rock of the craton, but there is indicative of carbonate influence on Jatuarana and Sucunduri that characterizes their affinity with white waters of the Solimões River.

**KEYWORDS:** Apuí; Charge Balance; river black water.

## 1. INTRODUÇÃO

O Estado do Amazonas é o maior detentor de reservas de água doce do mundo. As bacias dos rios Negro, Madeira, Jatapú, Nhamundá, Solimões-Amazonas perfazem a principal rede hidrográfica do território amazonense. Possui ainda sub-bacias de captação, com destaque para as do rio Içana, Japurá, Juruá e Purus (Varella, 2004).

Sioli (1968) classificou as águas dos rios da região em três grandes grupos: águas brancas, águas pretas e águas mistas. As águas brancas são provenientes de regiões andinas. Essas águas possuem pH próximo da neutralidade, com predomínio de íons cálcio e magnésio. O segundo grupo é formado pelas águas pretas. São ácidas, com alto teor de matéria orgânica alóctone da floresta (Lennher, 1997). Apresentam predomínio de sódio e potássio, resultado da lixiviação de terrenos geológicos antigos, como o planalto das Guianas. E por fim, as águas mistas, que são resultado da mistura das águas brancas e pretas. O maior exemplo na região é o rio Amazonas, formado a partir dos rios Negro e Solimões. As águas desses rios apresentam valores de pH próximos à neutralidade, com química semelhante aos rios de água branca (Stallard e Edmond, 1983).

Sioli (1960) acrescenta as águas claras em sua classificação. São águas mais transparentes que os de água branca. Carreiam poucos materiais em suspensão e tem origem na Amazônia Central, que em virtude do relevo mais regular, oferece menor possibilidade de erosão. Esses rios não formam várzeas e sim praias, possuem poucos lagos e igapós e há pouca produção de material orgânico. São exemplos de águas claras os rios Xingu e Tapajós.

A bacia do rio Madeira drena toda a porção sudeste do Estado. Apesar de o rio Madeira ser de água branca, os seus inúmeros afluentes são de águas pretas, como o Aripuanã, Canumã e Sucunduri. Os rios a leste de Apuí, por exemplo, Acari, Camaiú e Sucunduri são drenados para o rio Canumã. Já os rios a oeste, como Jatuarana e Juma são afluentes do rio Aripuanã. Tanto o rio Canumã como o Aripuanã, deságuam no rio Madeira, que por sua vez deságua no Amazonas.

Essa região é pouco conhecida do ponto de vista geológico e hidrológico, além disso, apresenta potencial mineral diversificado (manganês, fosfato e água mineral). Analisar a química das águas dos rios do município de Apuí significa esboçar a relação entre as rochas da região.

Relacionar essas informações com a vasta literatura para rios de água preta com o ciclo sazonal de Apuí, em verdade, constitui uma forma de descrever esse ecossistema,

tanto do ponto de vista climático, como hidrológico e geoquímico, investigando ainda possíveis influências antrópicas e a ciclagem de íons. Dessa forma, este estudo pretende investigar a hidrogeoquímica e o balanço anual de íons da porção sudeste da sub-bacia do rio Madeira, mais precisamente, no município de Apuí, interior do Amazonas, com o objetivo de verificar o quimismo dessas águas, bem como, a relação com as rochas dessa região.

## 2. OBJETIVOS

**Geral:** Caracterizar aspectos geoquímicos das bacias dos rios Aripuanã e Sucunduri-Canumã no município de Apuí, Amazonas, com o objetivo de verificar o quimismo das águas pretas e a relação com as rochas dessa região do cráton amazônico.

### **Específicos:**

- Determinar as variáveis físico-químicas: pH, turbidez, condutividade elétrica e íons Na, K, Ca, Mg, SiO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl;
- Quantificar os elementos-traço: Ag, Al, As, Au, Ba, B, Be, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, Mn, Mo, Ni, Nb, Pb, Pd, Pt, Rb, Re, Rh, Sb, Sc, Se, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, Tl, V, W, Y, Zn, Zr, Th, Pa, U e ETR;
- Avaliar o balanço de cátions e ânions, a sazonalidade das águas em função do período hidrológico e a influência das águas da chuva e subterrânea na composição química dos rios;
- Identificar variações químicas em relação ao tamanho da drenagem e em relação à geologia da área;

## 3. LOCALIZAÇÃO, HIDROGRAFIA, CLIMA E VEGETAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

O município de Apuí localiza-se na porção SE do Amazonas e ocupa uma área de 53.829 Km<sup>2</sup>. Está limitado ao norte pelo município de Novo Aripuanã (AM), a oeste com o de Manicoré (AM), a leste com Maués (AM) e Apiacás (MT) e ao sul com Aripuanã (MT). É drenado pelas bacias de águas pretas dos rios Sucunduri-Canumã a leste e Aripuanã a oeste, com direções aproximadas NS (Figura 1). Tem aproximadamente 650 km de extensão e nascentes próximas ao limite com o Estado do Mato Grosso e deságua no baixo curso do rio Madeira, próximo à cidade de Nova Olinda. Seus principais afluentes são os rios Acari, com extensão aproximada de 180

km, Camaiú, com 240 km, além do próprio Sucunduri, que se estende por mais de 150 km com nascentes próximas à divisa do Amazonas com o Mato Grosso (Figura 1). Todos são cortados pela BR-230 e nos locais estudados, possuem larguras de aproximadamente 100 m, 300 m e 400 m, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1: Locais de coleta, coordenadas e largura dos rios.

Pontos de coleta	Coordenadas		Largura (m)
<b>Rio Aripuanã</b>	S 06° 60' 10,2"	W 59° 41' 25,6"	400
<b>Rio Jatuarana</b>	S 06° 47' 40,5"	W 59° 19' 44,7"	100
<b>Igarapé 1</b>	S 06° 56' 0,1"	W 59° 02' 34,4"	15
<b>Igarapé 2</b>	S 07° 31' 24"	W 60° 40' 13"	80
<b>Rio Juma</b>	S 07° 12' 42,9"	W 60° 30' 19,8"	50
<b>Rio Acari</b>	S 07° 20' 34,4"	W 60° 14' 32,1"	100
<b>Rio Camaiú</b>	S 07° 16' 45"	W 60° 03' 24"	65
<b>Rio Sucunduri</b>	S 07° 12' 42,9"	W 59° 55' 19,7"	300
<b>Nascente</b>	S 07° 18' 4,9"	W 60° 04' 56,5"	água subterrânea

A bacia do rio Aripuanã, localiza-se a oeste da bacia do Sucunduri-Canumã, tem direção geral N-S, nascentes no Estado do Mato Grosso e Rondônia e deságua no rio Madeira à montante da cidade de Manicoré (Figura 2). É formada pelos rios Guariba e Roosevelt (Figura 1) cuja confluência está ao sul da BR-230 e totalizam aproximadamente 750 km de extensão. Os rios Jatuarana, com 260 km de extensão e Juma, com 240 km, são afluentes menores (Figura 1) e nos locais onde são cortados pela BR-230 possuem aproximadamente 50 m de largura. O rio Juma é o principal drenador da cidade de Apuí.

O clima da região é quente e úmido com estação seca pouco pronunciada, do tipo “Am”, na classificação de Köppen (1948). A temperatura anual média varia entre 25° e 27° C. A umidade relativa do ar é de aproximadamente 85% e a precipitação de até 2200 mm/ano. O período mais chuvoso na região é de janeiro a março e a época mais seca de junho a agosto. As menores temperaturas verificam-se de junho a julho, com mínimas absolutas de 10° C a 16° C (CPRM, 2001).

Segundo Terezo *et al* (1975) há duas principais floras com características pertinentes à região amazônica e centro-oeste. A floresta domina grande parte da região e o cerrado ocupa apenas ilhas no seu interior, próximo ao limite com Mato Grosso. Destacam-se “formações pioneiras”, caracterizadas por vegetação arbustiva campestre e arbustiva desenvolvida em áreas sujeitas a periódicas inundações. O cerrado ocupa invariavelmente áreas de platôs sedimentares e registra notáveis campos de areia branca

em meio à baixa vegetação. Já a floresta densa ocupa os terraços dos rios e feições com porções de floresta aberta onde predominam palmáceas (inajá e babaçu).

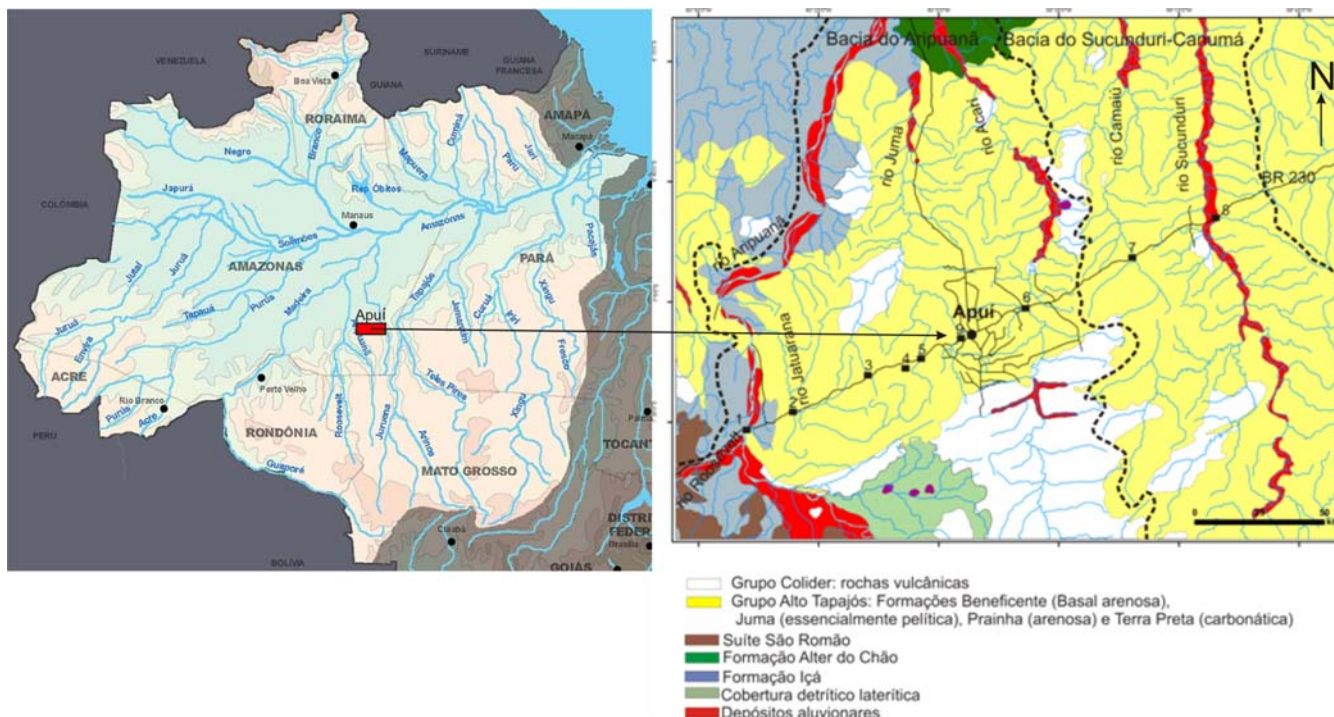


Figura 1: Mapa geológico e de localização da região estudada de Apuí – AM- 1- Aripuanã, 2- Jatuarana, 3- Igarapé 1, 4- Igarapé 2, 5- Juma, 6- Acari, 7- Camaiú, 8- Sucunduri e 9- Nascente

#### 4. JUSTIFICATIVA

Os rios que cortam o município de Apuí se enquadram pela aparência inicial, no perfil das águas pretas de Sioli (1968). Os rios dessa cor, em sua maioria, nascem nos escudos das Guianas e do Brasil Central. Possuem coloração marrom e quando a profundidade ultrapassa dois metros, as águas parecem realmente pretas. Apresentam fraco processo de erosão que é reduzido ainda mais pela densa mata fluvial, o que acarreta baixas cargas de sedimentos e grande transparência (Kuchler et al, 2000). As águas dessas áreas são pobres em elementos químicos, especialmente em metais alcalinos terrosos e tem baixo valor de pH. A acidez e a cor real das águas pretas são atribuídas, segundo Walker (1987), a presença de ácidos húmicos, originados de substâncias orgânicas não mineralizadas no solo da floresta.

Gibbs (1972) afirma que as águas pretas se caracterizam especialmente pelas elevadas concentrações de metais alcalinos, principalmente sódio e potássio e altas percentagens de metais como ferro, cobre, zinco e alumínio. Concentrações de bicarbonato são muito baixas nesses tipos de água (Smolders et al, 2004).

Trabalhos como os de Junk (1980), Reis (1983), Schimidt (1973), serviram de base para se confirmar os trabalhos de Sioli (1958). Tais autores observaram valores de condutividade elétrica para águas pretas de 5 – 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e pH entre 4,9 e 7,6. Esses resultados foram obtidos em rios próximos à fronteira dos Estados do Amazonas e Rondônia, nas rodovias BR-230 e BR-319.

Schimidt (1973) e Lennher & Santos (1982), identificaram baixas concentrações de cloreto de 34 a 250  $\mu\text{g}/\text{L}$  e sulfato de 0,0 a 260  $\mu\text{g}/\text{L}$ . Como as concentrações de metais alcalinos é significativa, deduz-se que outros ânions sejam responsáveis pelo balanço iônico, provavelmente oriundos da matéria orgânica alóctone da floresta (Lennher, 1997). Sardinha et al (2008) afirma que alguns desses ânions tenham procedência antrópica.

Gaillardet et al. (1997) observaram máximo de sódio de 322  $\mu\text{g}/\text{L}$  e 468  $\mu\text{g}/\text{L}$  de potássio. Aucour et al.(1986) verificaram pico de 290  $\mu\text{g}/\text{L}$  para esse íon. Santos et al. (1984) encontrou valores próximos a 1000  $\mu\text{g}/\text{L}$  de potássio similares aos de Schimidt (1973) na ordem de 1380  $\mu\text{g}/\text{L}$  e Lennher & Santos (1982) notaram concentrações de até 1940  $\mu\text{g}/\text{L}$ . Essas concentrações são altas se comparadas com as de rios de águas brancas, que ficam em torno de 200 a 600  $\mu\text{g}/\text{L}$  para sódio e potássio (Queiroz et. al, 2008).

Outro fator importante a se destacar é com relação ao potencial redox dessas águas. Junk (1982), Bríngel (1986), Lennher (1997) e Pinto (2004) observaram que essas águas apresentam valores de amônio superiores aos de nitrato. Tal fato corrobora a informação de que esses ambientes são redutores, ao invés de oxidantes. Isso pode explicar as concentrações baixas de oxigênio dissolvido, em relação às águas brancas e claras. O quimismo apresentado nas águas pretas explica o porquê da pobreza da biota e da flora nos rios de água preta. Com baixas concentrações de nutrientes a cadeia trófica não se desenvolve.

Os rios de água branca, ao contrário, se caracterizam por apresentar suas cabeceiras nos Andes. Carreiam sedimentos e os depositam nas extensas áreas alagadas da Amazônia durante as enchentes, compondo os solos férteis da várzea (Sioli, 1960). Têm abundante material em suspensão, coloração marrom-amarelada e são relativamente ricas em sais minerais, com grande percentagem de metais alcalinos terrosos, principalmente cálcio. Altas concentrações de bicarbonato e pH neutro são observados nessas águas (Stallard e Edmond, 1983).



Os elementos-traço também são escassos em ambientes de água preta. Gaillardet *et al.* (1997) estudaram diversos ambientes na Amazônia e observaram mínimas de elementos-traço e terras-raras em águas pretas. Entre os traços os que predominaram foram Rb, Sr, Co, Cr, Ni e principalmente Fe, com concentrações até 100 vezes maiores que dos elementos citados anteriormente.

Quanto aos ETR, La, Ce e Nd são os mais representativos nessas águas com teores de até 53 µg/L (Gaillardet *et al.* 1997). Queiroz *et al.* (2009) encontrou valores análogos tanto para elementos-traço como para os ETR, entre estes, as concentrações são maiores para La, Ce e Nd, especialmente Ce. Em rios da América do Norte, Goldstein e Jacobsen (1988) observaram também predomínio de Ce.

Nas águas brancas e mistas, as concentrações desses elementos duplicam (Gaillardet *et al.* 1997 e Queiroz *et al.* 2008), a exceção do ferro, que apresenta elevadas concentrações, mas similares aos ambientes de águas pretas amazônicas. Exemplo disso, são os resultados obtidos por Dupré *et al.* (1996) na bacia do Congo, na África.

#### **4.1 Geologia da área**

As bacias do Canumã e Aripuanã drenam as rochas do Cráton Amazônico e nos seus baixos cursos, próximos a confluência com o rio Madeira, os sedimentos da bacia do Amazonas (Formações Içá e Alter do Chão). As rochas do Cráton Amazônico, na área de estudo, são representadas pelo Grupo Alto Tapajós e Grupo Colíder (Figura 1). O Grupo Alto Tapajós é formado por siltitos e arenitos intercalados e brechas silicosas; Destacam-se algumas Formações, como a Prainha com quartzo arenitos sílticos; a Formação Terra Preta, com calcários cinza escuro, com vênulas de magnesita e arenitos sílticos e; a Formação Juma, essencialmente pelítica. O Grupo Colíder, com área de ocorrência restrita as porção SW, é composto por rochas vulcânicas, que em muitas áreas, apresenta quartzo arenito rosa (mais ferrificados), quando não, material argiloso e esbranquiçado (Reis, 2006).

### **5. MATERIAL E MÉTODOS**

Neste trabalho, realizaram-se coletas mensais de água de rio no município de Apuí, entre abril de 2009 e janeiro de 2010, ao longo da Transamazônica, entre os rios Aripuanã e Sucunduri (Figura 2). Foram amostrados os rios Aripuanã (1), Jatuarana (2), Juma (5), Acari (6), Camaiú (7) e Sucunduri (8), além de uma nascente (9) onde é explorada água mineral e dois igarapés, afluentes dos rios Jatuarana e Juma. No mês de

maio não houve coleta na nascente de água. Na tabela 1, encontram-se mais detalhes dos pontos amostrados. Para efeito de interpretação dos resultados, as amostras foram agrupadas em quatro períodos sazonais: chuvoso (média dos meses abril, outubro, novembro, dezembro e janeiro), de transição para a estiagem (maio), estiagem (junho, julho, agosto) e de transição para o chuvoso (setembro).

As amostras foram coletadas no meio do rio a 20 cm de profundidade, com auxílio de uma canoa, naqueles onde havia ponte esta foi utilizada como apoio. Cada amostra foi coletada com uma seringa de 100 ml e filtrada em um millex de 0,45  $\mu\text{m}$  de poro, essa etapa foi repetida até obter a quantidade de amostra necessária para as análises e acondicionadas em frasco de polietileno, previamente lavado com  $\text{HNO}_3$  a 10% e lavadas com água miliq. Como preservante de cátions e ânions foi adicionado, aproximadamente 0,02 g de timol. Para análise de elementos-traço, colocou-se duas gotas de ácido nítrico da MERCK bidestilado, para reduzir o pH e evitar precipitação.

O pH foi medido com auxílio de um pHmetro digital, previamente calibrado com soluções tampões de pH 7,0 e 4,0 respectivamente. A condutividade elétrica foi determinada com condutivímetro digital. O condutivímetro foi calibrado com solução 0,1 N de KCl, a 12,9 mS/cm. A alcalinidade foi analisada por volumetria de neutralização, utilizando ácido sulfúrico, na concentração de 0,02 N até pH 4,3, conforme APHA (2005), Golterman (2002) e Sperling (1996). Os valores foram expressos em miligramas de bicarbonato. O oxigênio gasto para consumir a matéria orgânica foi determinado pela análise de DQO (Demanda Química de Oxigênio), a partir da volumetria de oxi-redução com  $\text{KMnO}_4$  na concentração de 0,01 N. Os resultados são expressos em miligramas de oxigênio. Só foi realizada análise de DQO no período chuvoso. A turbidez foi medida com auxílio de um turbidímetro digital e os valores expressos em UNT.

Todos esses parâmetros foram medidos mensalmente entre abril de 2009 e janeiro de 2010 no laboratório de Geoquímica da Universidade Federal do Amazonas, dois dias após a coleta. Vale ressaltar, que houve um controle prévio para determinar as variações desses parâmetros com o passar do tempo. Constatou-se que em até seis dias as variações são mínimas, conforme mostram as tabelas 2 e 3:

Tabela 2: Comportamento da condutividade elétrica indicando a variação em seis dias.

		1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	5º dia	6º dia	Desvio-padrão
1	rio Aripuanã	22,20	22,10	22,00	22,10	22,10	22,00	0,05
2	rio Jatuarana	19,40	19,40	19,30	19,30	19,20	19,30	0,07
3	Igarapé 1	17,60	17,50	17,40	17,40	17,40	17,50	0,05
4	Igarapé 2	14,60	14,50	14,50	14,50	14,60	14,70	0,08
5	rio Juma	11,70	11,70	11,60	11,50	11,60	11,60	0,07
6	rio Acari	19,10	19,00	19,10	19,10	19,30	19,20	0,04
7	rio Camaiú	12,70	12,60	12,60	12,50	12,60	12,70	0,04
8	rio Sucunduri	14,50	14,60	14,30	14,40	14,40	14,60	0,01
9	Nascente	29,70	29,80	29,90	29,80	29,70	29,80	0,07

Tabela 3: Comportamento do pH indicando a variação em seis dias.

		1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	5º dia	6º dia	Desvio-padrão
1	Rio Aripuanã	4,93	4,93	4,92	4,92	4,80	4,96	0,06
2	Rio Jatuarana	4,55	4,50	4,50	4,52	4,58	4,60	0,04
3	Igarapé 1	3,82	3,80	3,78	3,80	3,82	3,90	0,04
4	Igarapé 2	3,86	3,80	3,78	3,80	3,82	3,90	0,04
5	Rio Juma	4,19	4,00	4,00	4,10	4,12	4,20	0,08
6	Rio Acari	4,90	4,90	4,88	4,90	4,80	5,00	0,07
7	Rio Camaiú	3,96	3,90	3,84	3,92	4,00	4,20	0,13
8	Rio Sucunduri	4,36	4,30	4,20	4,10	4,30	4,42	0,12
9	Nascente	3,90	3,90	4,00	4,00	3,90	4,10	0,08

A análise de SiO<sub>2</sub> foi feita no Laboratório de Química Ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), por espectrofotometria. Cátions (Na, K, Mg e Ca) e ânions (Cl, NO<sub>3</sub> e SO<sub>4</sub>) foram determinados por cromatografia de íons, no Laboratório de Geoquímica, do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas. Para medir a qualidade das análises, utilizaram-se padrões DIONEX, além de amostra de referência do INPA que possui controle de análises com base em amostras com certificados internacionais (Tabela 4).

Tabela 4: Composição química da amostra de referência do INPA

Íon	Análise realizada no INPA			Análise realizada na UFAM		
	Média	DP	Menor-maior	Média	DP	Menor-maior
Na	1,45	0,03	1,41 a 1,53	1,46	0,03	1,43 a 1,47
K	0,48	0,01	0,46 a 0,49	0,42	0,02	0,35 a 0,43
Mg	0,39	0,04	0,36 a 0,53	0,42	0,05	0,41 a 0,42
Ca	0,30	0,03	0,25 a 0,36	0,29	0,05	0,15 a 0,32
Cl	1,05	0,01	1,02 a 1,06	1,05	0,02	1,04 a 1,07
NO <sub>3</sub>	2,98	0,08	2,88 a 3,11	2,98	0,08	2,88 a 3,10
SO <sub>4</sub>	0,40	0,03	0,36 a 0,43	0,42	0,03	0,38 a 0,46

Os elementos Ag, Al, As, Au, Ba, B, Be, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, Mn, Mo, Ni, Nb, Pb, Pd, Pt, Rb, Re, Rh, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, Tl, V, W, Y, Zn, Zr, bem como os terras-raras La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, Pa, U, foram analisados em laboratório particular (ACMELAB, em Vancouver no Canadá), por ICP-MS. Para esses elementos só foram selecionados os

meses de dezembro (chuvoso), maio (transição para estiagem), julho (estiagem) e setembro (transição para o período chuvoso) como marcadores sazonais.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os rios estudados estão totalmente sob condição de floresta tropical e são típicos rios de água preta. Os mais extensos e com maior volume de água são o Aripuanã e Sucundurí com 400 e 300 m de largura aproximada, enquanto os igarapés 1 e 2 são os menores com poucos metros de largura. Estão submetidos à sazonalidade climática em função do volume de chuvas na região. Segundo levantamento pluviométrico de dez anos (1998 e 2007) realizado pela Agência Nacional de Águas, o período chuvoso se estende de outubro a abril (máximo de 300 mm), maio é a transição para a estiagem (155 mm) que se estende de junho a agosto (até 72 mm) e setembro caracteriza o período de transição para o chuvoso (até 160 mm) (Figura 2). Com base nesses dados, as amostras mensais foram agrupadas nesses quatro períodos. Os dados do período chuvoso e de estiagem equivalem às médias das amostras entre outubro e abril (exceto fevereiro e março que não foram amostrados) e entre junho e agosto, respectivamente, enquanto que os períodos de transição correspondem unicamente às amostragens dos respectivos meses (Tabelas de 5 a 8).

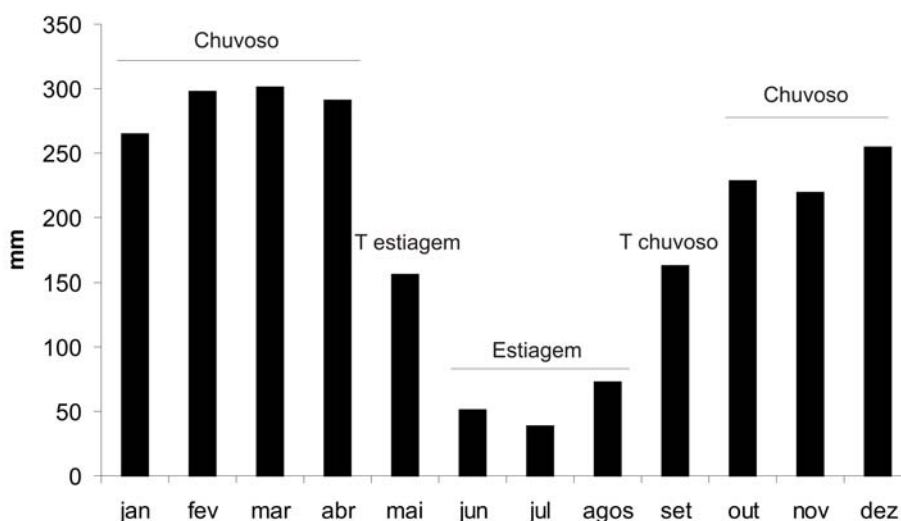


Figura 2: Média pluviométrica entre 1998 e 2007, em Apuí, Amazonas (ANA, 2008).

As tabelas de 5 a 8, apresentam os valores de pH, condutividade elétrica e turbidez e a concentração dos íons para os períodos chuvoso, de transição para a estiagem, estiagem e transição para o chuvoso. As “médias” de pH representam as

médias das concentrações de  $H^+$  com seus logaritmos. O Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) apresentado nas tabelas representa  $Na+K+Mg+Ca+Cl+SO_4+HCO_3+NO_3+SiO_2$  (Mortati e Probst, 2003) em  $\mu g/L$ . A Normalização do Balanço das Cargas Inorgânicas (NBCI) foi calculado a partir da equação  $(\Sigma\mu eq/L^+ - \Sigma\mu eq/L^-)/\Sigma\mu eq/L^+$  de Edmond *et al* (1995).

### **6.1 pH, Condutividade Elétrica, Turbidez e Demanda Química de Oxigênio.**

O pH e a condutividade tem um padrão em geral coincidente, as águas mais ácidas e menos condutivas estão na transição para a estiagem (maio) (3,2 e 8,2  $\mu S/cm$ , respectivamente) quando os corpos de água estão no máximo da sua cheia, enquanto as menos ácidas e mais condutivas são as da transição para o chuvoso (7,2 e 33,5  $\mu S/cm$ , respectivamente), que equivale ao nível mais baixo dos rios (Figura 3).

A nascente acompanhou o ciclo sazonal das drenagens, mas em geral, é mais ácida (entre 3,6 e 4,7) e mais condutiva (entre 23,1 e 64,6  $\mu S/cm$ ). A variação de matéria orgânica (DQO) nas drenagens no período chuvoso é proporcional ao pH (Figura 4) o que indica que pelo menos nesse período, quanto maior o conteúdo da matéria orgânica menor a acidez águas. Portanto, a relação água mais ácida - maior quantidade de íons dissolvidos não se aplica (Lennher, 1997).

A turbidez é baixa, típica de rios de água preta e a maior está nos rios Juma e Acarí e não se observa relação com o período hidrológico. Na nascente os valores de turbidez foram próximos à zero (Figura 3).

Tabela 5: Média dos parâmetros analisados, condutividade em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em NTU e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$  no período chuvoso (abril, outubro, novembro, dezembro e janeiro).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucundurí	Nascente	$\Sigma\text{D}$
pH	4,9	4,5	4,0	3,9	4,2	4,8	4,4	4,2	3,6	.....
CE	22,2	16,9	13,7	13,3	10,7	24,9	19,8	19,5	23,1	.....
Turb	7,1	3,8	2,7	3,1	11,0	9,6	4,6	6,2	<0,01	.....
$\text{Na}^+$	936,4	130,6	141,7	611,2	627,0	1243,0	217,7	277,0	933,0	4184,6
$\text{K}^+$	918,0	1463,0	2255,0	1029,0	1286,0	1329,0	762,0	754,0	844,0	9796,0
$\text{Mg}^{2+}$	454,0	506,6	161,9	114,5	329,7	401,4	218,2	840,6	105,0	3026,9
$\text{Ca}^{2+}$	857,7	864,3	244,2	364,5	733,4	772,4	206,2	1122,7	605,0	5165,4
$\text{SiO}_2$	4998,0	2916,0	2422,0	2516,0	2882,0	5330,0	2986,0	3516,0	1698,0	27566,0
$\text{HCO}_3$	192,0	96,0	34,0	32,0	32,0	198,0	152,0	88,0	<10	824,0
$\text{Cl}^-$	278,0	282,1	270,3	305,7	342,4	307,8	314,5	258,3	774,0	2359,1
$\text{NO}_3^-$	323,1	408,9	475,3	1965,6	922,6	488,8	2226,8	1304,8	6521,0	8115,9
$\text{SO}_4^{2-}$	156,4	283,5	81,6	158,6	179,8	243,9	207,2	188,2	191,0	1499,2
DQO	2451,0	1838,0	1378,0	1378,0	1225,0	1210,0	1072,0	1991,0	919,0	12543,0
TDS*	9113,6	6951,0	6086,0	7097,1	7334,9	10314,3	7290,6	8349,6	11671,0	62537,1
$\Sigma^+\mu\text{eq}/\text{L}$	144,5	128,1	89,5	80,6	124,0	159,8	57,3	156,7	101,1	1042,6
$\Sigma^-\mu\text{eq}/\text{L}$	19,4	21,9	17,3	44,1	28,7	24,8	51,5	33,6	130,9	239,8
NBCI%**	0,9	0,8	0,8	0,5	0,8	0,8	0,1	0,8	-0,3	5,5

\*TDS =  $\text{Na}+\text{K}+\text{Mg}+\text{Ca}+\text{SiO}_2+\text{Cl}+\text{HCO}_3+\text{NO}_3+\text{SO}_4$  (Mortati et al, 2003); \*\* Normalização do balanço de cargas inorgânicas (NBCI) =  $(\Sigma\mu\text{eq}/\text{L} \text{ cátions} - \Sigma\mu\text{eq}/\text{L} \text{ ânions}) / \Sigma\mu\text{eq}/\text{L} \text{ cátions}$  (Edmond et al. 1995),  $\Sigma\text{D}$  - somatória dos elementos dissolvidos nas drenagens

Tabela 6: Média dos parâmetros analisados, condutividade em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$  no período de transição para a estiagem (maio). Não houve coleta na nascente nesse período.

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucundurí	$\Sigma\text{D}$
pH	4,9	4,3	3,2	3,7	4,2	4,8	4,4	4,3	.....
CE	18,0	11,2	28,0	8,3	9,2	19,3	8,2	12,4	.....
Turb	8,2	3,3	4,1	3,0	20,0	9,3	2,6	4,4	.....
$\text{Na}^+$	942,0	40,0	46,0	409,0	72,0	686,0	115,0	159,0	2469,0
$\text{K}^+$	1019,0	488,0	573,0	419,0	878,0	980,0	315,0	792,0	5464,0
$\text{Mg}^{2+}$	591,0	354,0	150,0	157,0	313,0	400,0	112,0	374,0	2451,0
$\text{Ca}^{2+}$	890,0	295,0	58,0	48,0	426,0	522,0	70,0	249,0	2558,0
$\text{SiO}_2$	5640,0	5260,0	5220,0	4910,0	5580,0	5250,0	2350,0	3670,0	37880,0
$\text{HCO}_3$	200,0	<10	<10	<10	<10	160,0	40,0	<10	400,0
$\text{Cl}^-$	147,0	95,0	189,0	131,0	194,0	68,0	485,0	42,0	1351,0
$\text{NO}_3^-$	5426,0	485,0	1209,0	1708,0	1074,0	329,0	140,0	325,0	10696,0
$\text{SO}_4^{2-}$	79,0	112,0	53,0	53,0	440,0	19,0	19,0	36,0	811,0
TDS	14934,0	7129,0	7498,0	7835,0	8977,0	8414,0	3646,0	5647,0	64080,0
$\Sigma^+\mu\text{eq}/\text{L}$	160,2	58,1	31,9	43,8	72,7	114,0	25,8	70,5	576,4
$\Sigma^-\mu\text{eq}/\text{L}$	96,5	12,8	25,9	32,3	31,8	10,2	17,0	7,2	232,3
NBCI%	0,4	0,8	0,2	0,3	0,6	0,9	0,3	0,9	4,5

Tabela 7: Média dos parâmetros analisados, condutividade em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$  no período de estiagem (junho, julho e agosto).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente	$\Sigma\text{D}$
pH	5,9	5,1	4,6	4,7	5,0	5,7	4,9	5,6	4,0	.....
CE	21,2	18,8	13,5	13,4	17,4	21,6	11,5	20,4	32,1	.....
Turb	3,8	3,1	2,1	3,1	10,6	6,1	3,2	2,3	1,4	.....
Na <sup>+</sup>	1298,0	143,0	305,0	233,0	412,0	817,0	813,0	238,0	1249,0	4259,0
K <sup>+</sup>	1358,0	1041,0	799,0	837,0	1432,0	1769,0	1159,0	1345,0	789,0	9740,0
Mg <sup>2+</sup>	644,0	798,0	149,0	154,0	486,0	542,0	149,0	929,0	200,0	3851,0
Ca <sup>2+</sup>	1169,0	1114,0	184,0	68,0	642,0	816,0	195,0	1129,0	96,0	5317,0
SiO <sub>2</sub>	6923,0	4665,0	3435,0	3780,0	5293,0	9295,0	4043,0	4625,0	2667,0	42059,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	160,0	123,0	73,0	69,0	137,0	200,0	67,0	193,0	47,0	1022,0
Cl <sup>-</sup>	293,0	187,0	168,0	239,0	252,0	144,0	148,0	126,0	416,0	1557,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	330,0	327,0	73,0	211,0	498,0	853,0	263,0	263,0	5779,0	2818,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	146,0	160,0	190,0	163,0	98,0	127,0	144,0	120,0	258,0	1148,0
TDS*	12321,0	8558,0	5376,0	5754,0	9250,0	14563,0	6981,0	8968,0	11501,0	71771,0
$\Sigma^+\mu\text{eq}/\text{L}$	202,7	154,3	55,2	47,7	126,7	166,3	87,1	177,7	95,8	1017,8
$\Sigma^-\mu\text{eq}/\text{L}$	19,2	15,8	11,0	14,6	19,4	23,7	12,4	13,4	111,0	117,8
NBCI%	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	-0,2	6,9

Tabela 8: Média dos parâmetros analisados condutividade em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$  no período de transição para chuvoso (setembro).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente	$\Sigma\text{D}$
pH	7,2	6,5	5,4	5,3	6,5	6,6	6,0	7,1	4,7	.....
CE	26,7	26,5	23,2	18,0	19,7	33,5	22,6	32,8	64,6	.....
Turb	2,1	4,9	2,6	2,6	14,8	8,3	3,1	2,3	<0,01	.....
Na <sup>+</sup>	952,0	327,0	307,0	445,0	314,0	1151,0	330,0	273,0	201,0	4099,0
K <sup>+</sup>	1708,0	1805,0	1009,0	1430,0	1996,0	24,0	1784,0	1665,0	634,0	11421,0
Mg <sup>2+</sup>	763,0	1062,0	212,0	247,0	663,0	659,0	225,0	1527,0	87,0	5358,0
Ca <sup>2+</sup>	1411,0	1551,0	123,0	193,0	864,0	1079,0	163,0	1882,0	531,0	7266,0
SiO <sub>2</sub>	2230,0	3580,0	1670,0	2940,0	3990,0	6580,0	2890,0	3920,0	1480,0	27800,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	180,0	164,0	136,0	132,0	164,0	168,0	152,0	180,0	120,0	1276,0
Cl <sup>-</sup>	612,0	935,0	661,0	1040,0	610,0	832,0	883,0	493,0	578,0	6066,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1254,0	1008,0	140,0	241,0	657,0	1270,0	1051,0	1327,0	2187,0	6948,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	236,0	68,0	280,0	186,0	116,0	127,0	32,0	286,0	1417,0	1331,0
TDS	9346,0	10500,0	4538,0	6854,0	9374,0	11890,0	7510,0	11553,0	7235,0	71565,0
$\Sigma^+\mu\text{eq}/\text{L}$	218,5	225,5	62,8	86,0	162,6	158,9	86,8	274,3	58,7	1274,9
$\Sigma^-\mu\text{eq}/\text{L}$	45,2	46,7	28,8	39,1	32,8	49,3	45,0	44,1	82,4	329,1
NBCI	0,8	0,8	0,5	0,5	0,8	0,7	0,5	0,8	-0,4	5,5

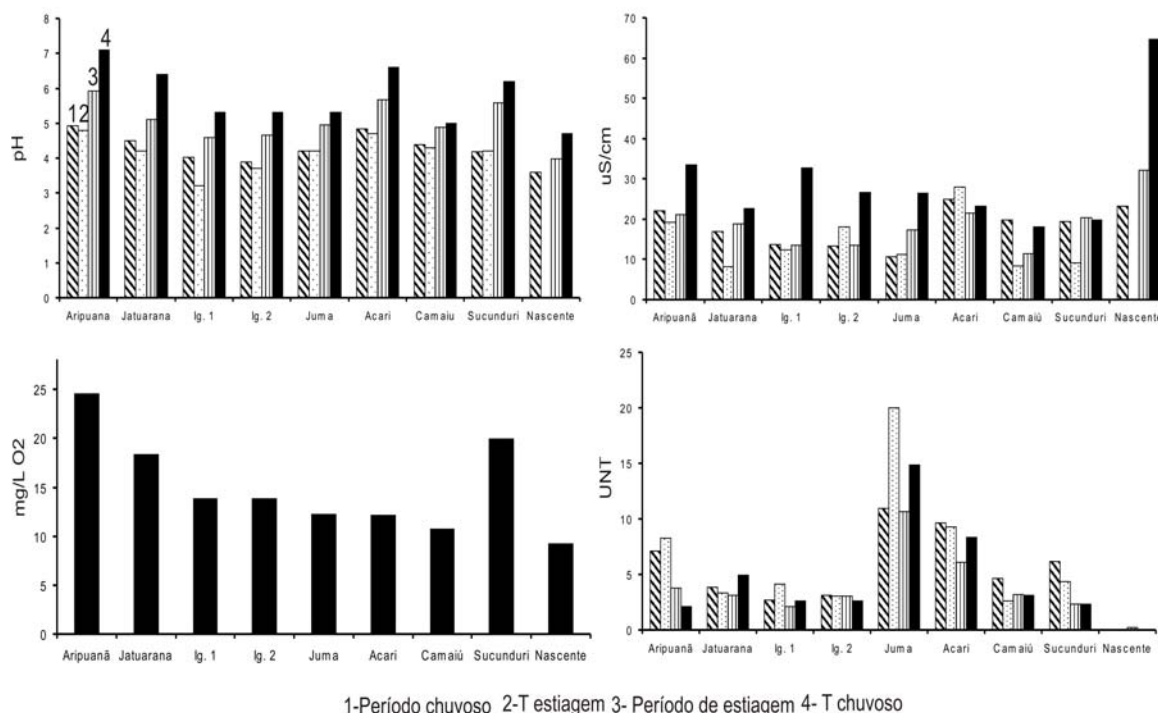


Figura 3: Variação do pH, condutividade elétrica, turbidez e demanda química de oxigênio (DQO - dezembro de 2009).

## 6.2 Ânions ( $\text{Cl}^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ ), Cátions ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ ) e Sílica.

A química e consequentemente a contribuição de cada íon é variável entre os períodos analisados e entre as drenagens. A sílica é o componente mais abundante das águas de Apuí e em praticamente todos os locais e períodos analisados (Figura 5). Representa até 70% da composição das águas no período de estiagem, enquanto que na transição para a estiagem é menor (no máximo 35% no rio Aripuanã). O potássio é o segundo íon em abundância e é seguido do nitrato. O potássio tem maior contribuição no período chuvoso, de até 35% para a maioria das drenagens, exceto no Camaiú e Sucunduri, onde atinge em torno de 10% na transição para o chuvoso. O nitrato varia entre os períodos, tem maior proporção no período chuvoso no igarapé 2 (25%) e Camaiú (25%).

Os demais íons têm proporções mais variáveis entre as drenagens e nos períodos. O Ca tem contribuição elevada na transição para o chuvoso (20% nos igarapés 1 e 2) e secundariamente na estiagem (20% nos igarapés 1 e 2) e o Na, em geral é mais baixo que o Ca, alcança no máximo 20% no Acari na transição para o chuvoso. O Mg é o mais baixo entre os álcalis, tem contribuição um pouco mais elevada apenas na transição para o chuvoso, entre 5 e 10% nos rios Jatuarana, Acari e Sucunduri. O Cl está acima de 5% apenas na transição para o chuvoso (máximo de 10% no igarapé 2). O



$\text{SO}_4^{2-}$  representa no máximo 5% no Jatuarana no período chuvoso e menos de 2% no Juma na estiagem (Figura 4).

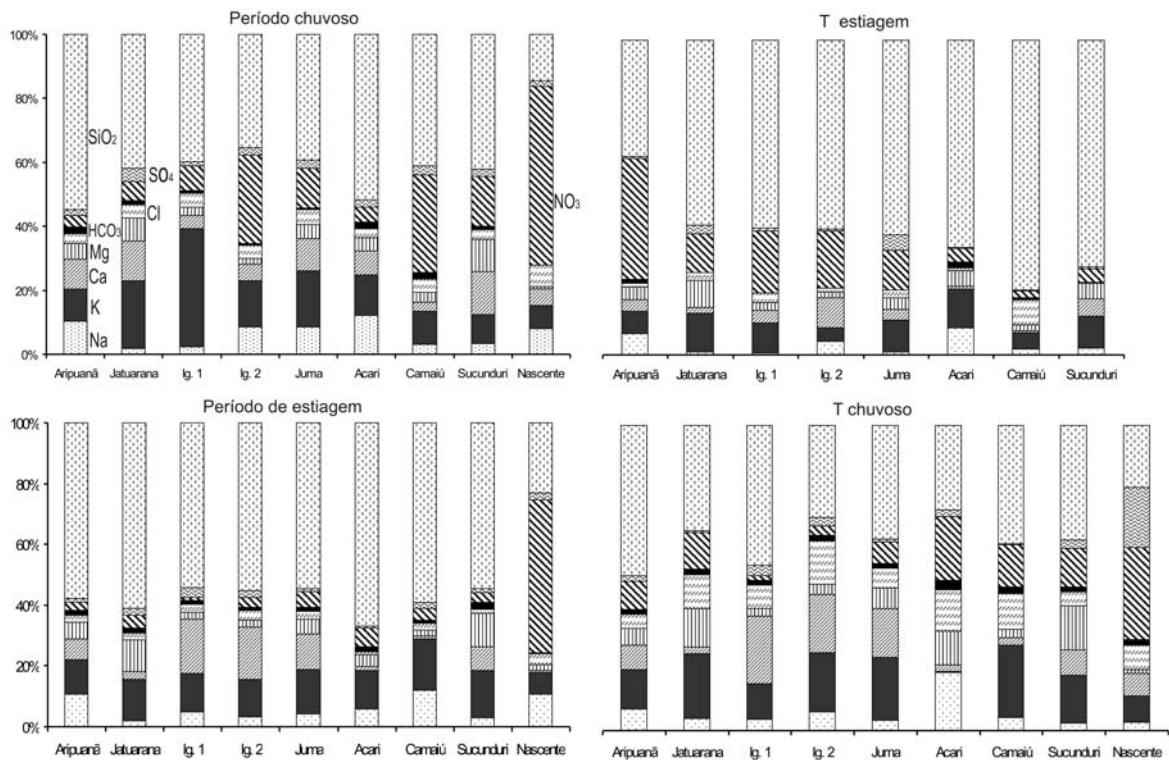


Figura 4: Comportamento dos íons ao longo do ciclo sazonal entre 2009 e 2010, em Apuí, Amazonas.

A normalização do balanço de cargas inorgânicas mostra excesso de cátions (NBCI entre 0,1 e 0,9) nas drenagens em todos os períodos analisados, é menos acentuada na transição para a estiagem e mais na estiagem, enquanto a nascente tem excesso de ânions (NBCI entre -0,2 a -0,4) (Tabelas 5 a 8). Os rios que apresentam os maiores desbalanços são o Jatuarana, Acari e Sucunduri. O desbalanço, aparentemente tem controle completo, pois no período chuvoso e na transição para estiagem, as drenagens com menor desbalanço apesar de terem menos cátions dissolvidos tem, no geral mais  $\text{NO}_3$ . Na transição para o chuvoso o menor desbalanço pode ser atribuído ao menor conteúdo de Mg e Ca, enquanto na estiagem com desbalanço muito elevado não se identifica uma tendência. Comparativamente, a inversão com mais carga negativa que positiva na nascente, deve-se ao elevado conteúdo de  $\text{NO}_3$ .

A soma da carga dissolvida, considerando os íons mais abundantes ( $\text{TDS} = \text{Na} + \text{K} + \text{Mg} + \text{Ca} + \text{SiO}_2 + \text{Cl} + \text{HCO}_3 + \text{NO}_3 + \text{SO}_4$ ), tende há ser um pouco maior no período de estiagem e na transição para o chuvoso (Tabelas 5 a 8). Apesar de a condutividade

estar relacionada à carga dissolvida, há correlação positiva desses dois parâmetros apenas no período chuvoso e na estiagem (Figura 5).

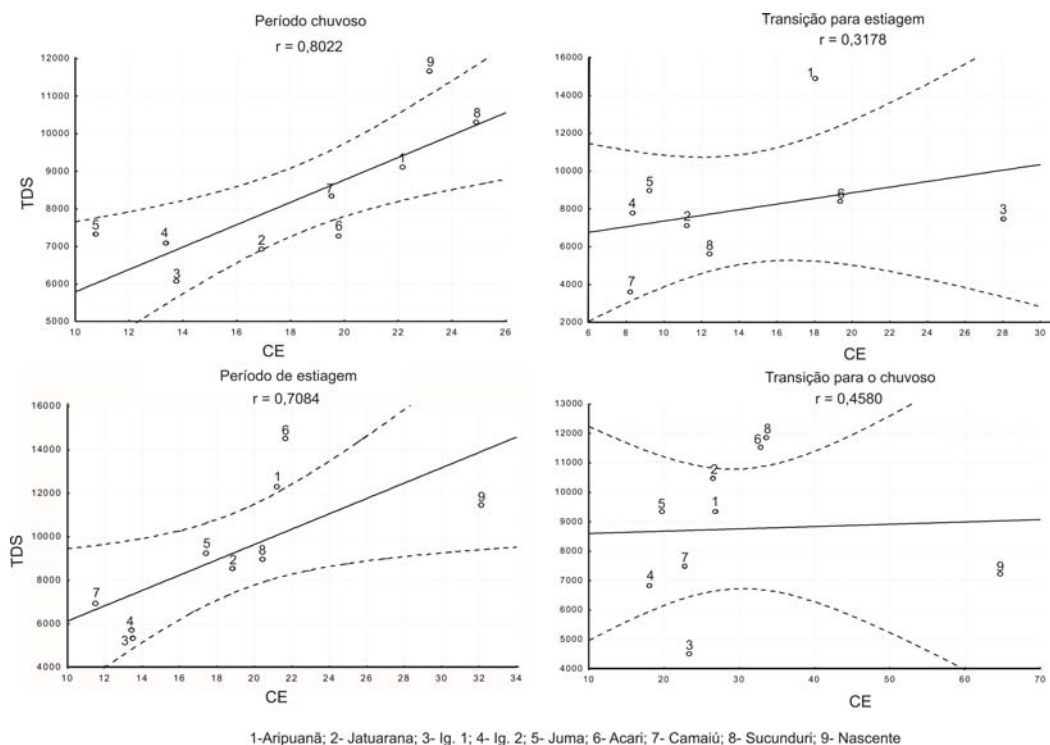


Figura 5: Correlação entre TDS e condutividade elétrica, ao longo do ciclo sazonal.

### 6.3 Elementos - traço

As tabelas 9 a 12 apresentam as concentrações dos elementos-traço nas águas estudadas. O conteúdo dos elementos-traço nas águas estudadas permite separá-los em quatro grupos: 1) Fe, Al, Mn, Zn, Ba e P com concentrações em geral acima de 10 µg/L; 2) Rb e Sr entre 1 e 15 µg/L; 3) V, Co, Ni, Cu, Zr, Y, Ag, Li, Cs, Sb, Pb, Tl, Rb e Sr, com concentrações inferiores a 1 µg/L; 4) Hg, In, Nb, Re, Rh, Hf, Ta, Ag, As, Au, Be, Bi, Sb, Cd, Ge, Sn, Te, Tu, Ga e Sc em muitos casos, abaixo do limite de detecção (Tabelas 8, 9,10 e 11). No entanto, alguns elementos apresentam valores anômalos, como o Sb que é muito elevado na estiagem em todas as drenagens e outros com valores esporadicamente elevados, como o Pb no rio Jatuarana no chuvoso e na transição para o chuvoso e Co, Ni, Cu e Be no rio Juma na transição para o chuvoso. A nascente tem o mais elevado conteúdo de Cu no período chuvoso. Os grupos 1 e 2 representam quase 100% da composição química das águas de Apuí.

As drenagens são mais concentradas em elementos-traços dissolvidos no período chuvoso, ao contrário dos íons maiores que são mais concentrados na estiagem. A maior diluição ocorre na transição para a estiagem (Tabelas 9 a 12). Em geral, o Juma é mais

concentrado, seguido do Jatuarana no período chuvoso e na transição para estiagem e pelo Igarapé 1 nos demais períodos.

Tabela 9: Elementos-traço em µg/L no período chuvoso (dezembro).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente	ΣD
<b>Fe</b>	487	818	515	381	1465	409	1276	324	<10	5675
<b>Al</b>	182	399	199	192	366	255	346	159	311	2098
<b>Mn</b>	5,4	28,2	29,5	20,6	227	17,9	43,6	10,4	6,45	382,9
<b>Zn</b>	1104,6	1413,9	749	346,6	356	1407	474,3	481,3	4	6332,8
<b>Ba</b>	40,8	9,9	4,4	7,7	11,2	25,4	16,4	28,2	9,58	144
<b>P</b>	23	28	<20,0	<20,0	29	32	<20,0	22	20	134
<b>Rb</b>	5,2	1,6	1,9	1,4	1,8	4,6	2,6	3,6	1,16	22,6
<b>Sr</b>	12,6	1,8	1,4	1,5	2,5	6,2	2,6	3,1	1,32	31,7
<b>Li</b>	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3	<0,1	1,8
<b>Co</b>	0,1	0,3	0,2	0,2	0,8	0,2	0,3	0,1	0,03	2,1
<b>Ni</b>	0,4	0,4	<0,2	1,5	0,7	0,3	0,2	0,5	<0,2	4
<b>Cu</b>	0,8	0,6	0,3	3,2	2,3	0,8	0,6	1,6	0,1	10,2
<b>Cr</b>	0,6	0,6	0,6	0,7	1	<0,5	0,6	<0,5	4,2	4,1
<b>Cs</b>	0,1	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0,04	0,3
<b>Pb</b>	0,5	50,7	1,3	0,5	1,2	0,7	0,8	0,6	0,4	56,3
<b>Σions</b>	1863,4	2753,3	1503	957	2465	2159,3	2164,2	1034,7	358,28	14900

Hg, In, Nb, Pt, Re, Rh<0,01; Hf, Ta < 0,02; Ag, As, Au, Be, Bi, Sb, Cd, Ge, Sn, Te, Ru, Ga < 0,05; Sc < 0,5; Se < 1; Mo <0,1, Pd <0, 2; B < 5, V<0,2; Zr <0,02; Y, Tl< 0,01;

Tabela 10: Elementos-traço em µg/L no período de transição para a estiagem (maio).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente	ΣD
<b>Fe</b>	283,0	238,0	257,0	236,0	313,0	290,0	123,0	98,0	<10,0	1838,0
<b>Al</b>	38,0	134,0	85,0	124,0	146,0	71,0	82,0	47,0	274,0	727,0
<b>Mn</b>	2,6	8,6	38,3	15,4	23,2	10,7	10,2	7,5	6,3	116,5
<b>Zn</b>	8,8	13,5	11,3	9,5	27,9	31,0	18,5	8,4	7,2	128,9
<b>Ba</b>	33,1	7,0	3,7	10,5	9,6	22,9	7,9	18,8	12,3	113,3
<b>P</b>	<20,0	24,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	24,0
<b>Rb</b>	3,9	1,6	2,1	1,6	2,3	4,5	1,9	2,4	1,4	20,3
<b>Sr</b>	11,1	1,4	1,5	2,0	3,0	5,9	1,2	1,7	1,8	27,8
<b>Li</b>	0,4	0,2	0,7	0,1	0,1	0,5	0,1	0,2	<0,10	2,3
<b>Co</b>	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,0	1,1
<b>Ni</b>	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	2,3	0,8	<0,2	0,3	4,8
<b>Cu</b>	0,5	0,4	0,7	0,4	0,4	3,0	1,3	0,2	0,4	6,9
<b>Pb</b>	0,2	0,4	0,2	0,2	0,5	1,1	0,7	0,1	0,3	3,4
<b>V</b>	0,4	0,3	<0,20	0,2	0,3	0,3	<0,20	<0,20	<0,20	1,5
<b>Sb</b>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,9
<b>Zr</b>	0,1	0,3	0,1	0,8	0,2	0,1	0,3	0,2	<0,02	2,0
<b>Σions</b>	382,3	430,0	401,2	401,2	527,0	443,7	248,0	184,5	306,9	3017,8

Au,Cd, Sn, As, Be, Bi, Ga, Ge, Ru, S, Ag, Te <0,05; Pt, Nb, In, Rh, Re, Tl, Y, Nb <0,01; Hg, Mo< 0,1; W, Hf, Ta <0,02; Pd <0,2; B < 5; Ti < 10.

Tabela 11: Elementos-traço em µg/L no período de estiagem (julho).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente	ΣD
<b>Fe</b>	161,0	307,0	562,0	335,0	483,0	347,0	202,0	177,0	89,0	2574,0
<b>Al</b>	276,0	313,0	266,0	318,0	308,0	195,0	138,0	371,0	493,0	2185,0
<b>Mn</b>	5,4	10,9	102,8	17,4	24,2	12,2	9,7	8,6	10,1	191,1
<b>Zn</b>	13,5	72,7	152,4	27,0	18,6	18,0	17,8	12,0	15,7	332,0
<b>Ba</b>	31,7	10,2	14,3	7,9	13,5	25,9	9,0	30,4	9,8	143,0
<b>P</b>	37,0	58,0	32,0	42,0	53,0	38,0	<20,0	50,0	72,0	310,0
<b>Rb</b>	4,1	2,9	2,2	2,6	3,7	7,1	3,4	3,7	1,3	29,8
<b>Sr</b>	13,6	4,1	4,3	3,5	5,9	8,9	2,0	5,4	5,2	47,7
<b>Li</b>	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,6	0,1	0,3	<0,1	2,2
<b>Co</b>	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,3	0,2	0,4	0,6	3,0
<b>Ni</b>	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	3,2
<b>Cu</b>	2,0	0,6	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	5,5
<b>Cr</b>	<0,5	0,5	0,6	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	1,7
<b>Cs</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3
<b>Pb</b>	0,2	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	2,5
<b>V</b>	0,5	0,5	0,3	0,6	0,5	0,6	0,2	0,4	0,3	3,6
<b>Sb</b>	36,5	41,9	15,1	14,4	16,9	21,7	10,1	57,7	30,8	214,3
<b>Zr</b>	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	<0,02	0,5
<b>Y</b>	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	1,0
<b>Tl</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
<b>Σions</b>	582,9	824,0	1154,4	771,2	929,2	676,8	393,7	718,3	729,6	6050,4

Au, Cd, Sn, As, Be, Bi, Ga, Ge, Ru, S, Ag, Te <0,05; Pt, Nb, In, Rh, Re, Tl, Y, Nb <0,01; Hg, Mo < 0,1; W, Hf, Ta <0,02; Pd <0,2; B < 5; Ti < 10

Tabela 12: Elementos-traço em µg/L no período de transição para o chuvoso (setembro).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente	Σions
<b>Fe</b>	84,0	395,0	827,0	560,0	589,0	340,0	570,0	91,0	<10	3456,0
<b>Al</b>	18,0	107,0	196,0	216,0	475,0	57,0	161,0	34,0	270,0	1264,0
<b>Mn</b>	2,6	22,3	108,0	37,7	51,1	12,4	23,4	9,5	6,2	266,9
<b>Zn</b>	26,3	39,9	112,1	19,3	295,6	16,6	16,2	10,6	5,8	536,6
<b>Ba</b>	32,7	11,7	8,6	15,0	25,7	24,2	11,5	41,4	8,6	170,8
<b>P</b>	<20,0	33,0	95,0	35,0	101,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	264,0
<b>Rb</b>	5,5	5,1	3,0	3,7	9,0	9,4	6,2	5,0	1,2	47,0
<b>Sr</b>	13,3	3,4	3,0	3,7	11,3	8,7	2,6	4,7	1,1	50,5
<b>Li</b>	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	<0,1	0,2	<0,1	1,9
<b>Co</b>	0,0	0,2	0,4	0,3	3,1	0,1	0,1	0,1	0,0	4,3
<b>Ni</b>	0,2	1,0	0,7	0,8	25,4	0,3	0,4	0,5	<0,2	29,3
<b>Cu</b>	0,7	1,9	1,6	2,1	45,7	0,8	0,8	1,0	145,0	54,6
<b>Cr</b>	<0,5	0,7	1,0	0,7	2,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	5,1
<b>Cs</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3
<b>V</b>	0,3	0,6	0,7	0,6	0,8	0,6	1,0	<0,2	<0,2	4,6
<b>Zr</b>	<0,02	0,4	1,0	0,3	0,3	0,0	0,1	0,0	<0,02	2,1
<b>Y</b>	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	1,1
<b>Be</b>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,7	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,7
<b>Nb</b>	<0,01	<0,01	0,2	<0,01	0,0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2
<b>Mo</b>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2
<b>Cd</b>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,2
<b>Σions</b>	184,1	622,7	1358,7	895,6	1638,2	470,7	793,4	198,1	438,1	6161,4

Pt, In, Re e Rh < 0,01; Ag, Au, Ge, Ru, Pb Te < 0,05; W e Ta < 0,02; Hg e Pb < 0,1; Pd < 0,2; As e Se < 0,5; Sc < 1 e Ti e Tl < 10; Pb < 0,1; Sb < 0,05.

O Fe tende a ter maior contribuição nos períodos de transição para a estiagem (até 75% no Aripuanã) e transição para o chuvoso (70% no Acari e Camaiú) e menor no período chuvoso (20 % no Acari e 60% no Juma e Camaiú). Menor proporção de Fe corresponde a maior de Al na estiagem (entre 20 e 60%), enquanto nos períodos chuvoso e transição para o chuvoso aumentam os demais íons, especialmente Zn no primeiro onde alcança 60% no Acari. As menores contribuições de Al estão no rio Aripuanã (10%) nos períodos de transição e no chuvoso (Figura 6).

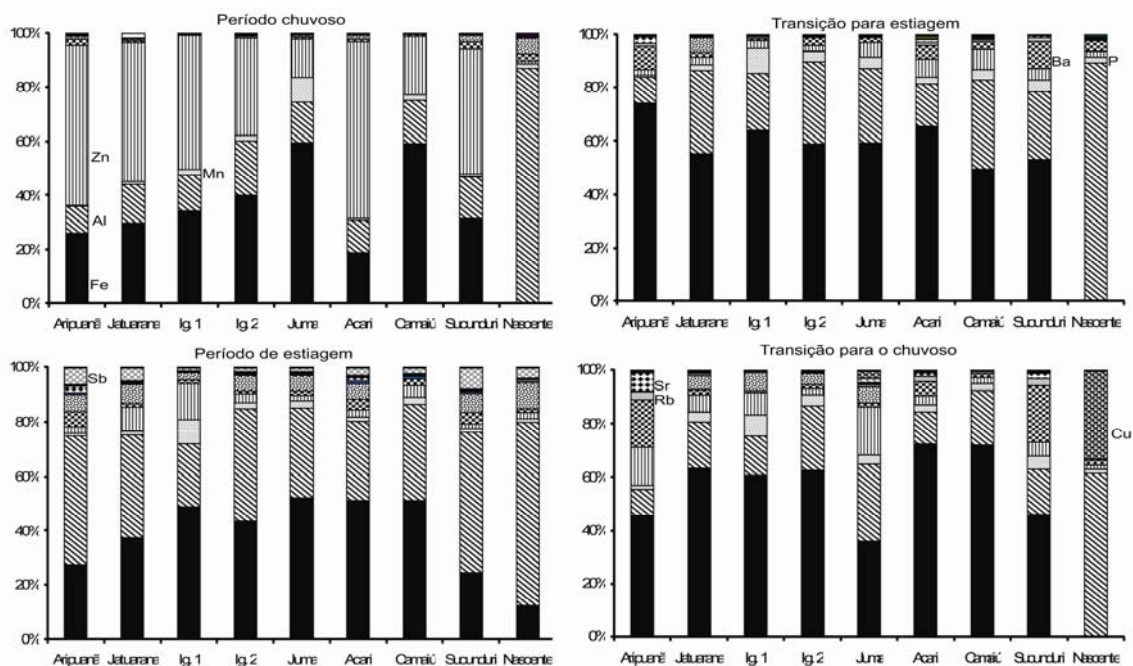


Figura 6: Variação percentual dos elementos-traço em Apuí, ao longo de um ciclo sazonal.

O igarapé 1 destaca-se pela maior contribuição de Mn (até 10%), com exceção do período chuvoso, onde o rio Juma concentra 10% desse elemento. No Aripuanã e no Sucunduri, o Ba é mais concentrado que o Zn, exceto no período chuvoso, onde contribui com até 5%. O P contribui com até 5% na estiagem e na transição para o chuvoso, enquanto Rb e Sr têm maiores contribuições no período de transição para o chuvoso, no rio Aripuanã (15%) e Sb no Sucunduri (10%) e no igarapé 1 (2%).

O conteúdo total de elementos traços na nascente é maior na estiagem e acompanha as drenagens somente na transição para a estiagem quando também é mais diluída (Tabelas 9 a 12), mas quimicamente é distinta. Os teores de Fe são muito menores (máximo de 10% na estiagem) enquanto o de Al é mais alto (60 a 90%) e o Cu

é anormalmente elevado na transição para o chuvoso, representa 35% da composição química total dos elementos-traço.

#### 6.4 Elementos Terras-raras

Dentre os ETR, La, Ce e Nd são os mais elevados, são seguidos de Sm, Pr e Dy (até 0,13 µg/L), enquanto os demais apresentaram teores inferiores a 0,1 µg/L (Tabelas de 13 a 16). Acompanham os demais elementos-traço, estão no geral mais elevados no período chuvoso exceto no Igarapé 2 e no Juma, onde o La é anormalmente elevado na transição para estiagem (252,8 ppm) e na transição para o chuvoso (43,05 ppm), respectivamente. Os menores conteúdos estão na estiagem exceto no Aripuanã cujo menor teor está na transição para o chuvoso (Tabelas 13 a 16). O Jatuarana e o Igarapé 1 são os que tem, em geral o menor conteúdo de ETR. O padrão dos ETR na nascente é similar às drenagens, mas é mais homogênea em termos de variação de teores nos três períodos considerados.

Tabela 13: ETR em µg/L no período chuvoso (dezembro).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	ΣETR
<b>La</b>	1,03	0,17	0,08	3,79	3,14	0,81	0,39	0,35	9,76
<b>Ce</b>	2,27	1,70	0,12	0,36	0,42	1,97	1,15	0,62	8,61
<b>Pr</b>	0,26	0,04	<0,01	0,04	0,04	0,19	0,09	0,06	0,72
<b>Nd</b>	1,10	0,19	0,06	0,15	0,17	0,77	0,34	0,29	3,07
<b>Sm</b>	0,19	0,04	<0,02	0,03	0,03	0,13	0,07	0,06	0,55
<b>Eu</b>	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,05
<b>Gd</b>	0,16	0,04	0,02	0,02	0,03	0,13	0,06	0,05	0,51
<b>Tb</b>	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,03
<b>Dy</b>	0,16	0,02	0,01	0,01	0,03	0,12	0,03	0,04	0,42
<b>Ho</b>	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,05
<b>Er</b>	0,09	0,02	<0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,02	0,23
<b>Yb</b>	0,08	0,02	<0,01	<0,01	0,02	0,06	0,02	0,02	0,22
<b>Lu</b>	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
<b>ΣETRL</b>	4,85	2,14	0,26	4,37	3,80	3,87	2,04	1,38	22,71
<b>ΣETRP</b>	0,40	0,10	0,03	0,04	0,10	0,40	0,13	0,13	1,33
<b>ΣETR</b>	5,25	2,24	0,29	4,41	3,90	4,27	2,18	1,51	24,05
<b>Lan<sub>n</sub>/Yb<sub>n</sub></b>	8,70	5,74	5,41	256,11	106,09	9,12	13,18	11,83	.....

Tb e Tm > 0,01

Tabela 14: ETR em µg/L no período de transição para a estiagem (maio).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente	ΣETR
<b>La</b>	0,34	0,18	0,05	252,80	0,35	1,29	1,41	0,21	0,36	256,99
<b>Ce</b>	0,71	0,13	0,09	5,20	0,20	0,67	0,36	0,26	0,57	8,19
<b>Pr</b>	0,08	0,02	<0,01	0,40	0,02	0,07	0,02	0,03	0,05	0,69
<b>Nd</b>	0,34	0,07	0,04	1,07	0,10	0,30	0,08	0,11	0,19	2,30
<b>Sm</b>	0,07	<0,02	<0,02	0,13	0,02	0,05	<0,02	<0,02	0,03	0,30
<b>Eu</b>	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
<b>Gd</b>	0,05	0,02	<0,01	0,05	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,25
<b>Dy</b>	0,05	0,02	<0,01	0,08	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,23
<b>Ho</b>	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
<b>Er</b>	0,03	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,12
<b>Yb</b>	0,03	<0,01	<0,01	0,08	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,14
<b>Lu</b>	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
<b>Σ ETRL</b>	1,54	0,40	0,18	259,60	0,69	2,38	1,87	0,60	1,20	268,46
<b>Σ ETRP</b>	0,16	0,04	<0,01	0,32	0,06	0,15	0,03	0,03	0,03	0,82
<b>Σ ETR</b>	1,70	0,44	0,18	259,92	0,75	2,53	1,90	0,63	1,23	269,28
<b>Lan<sub>n</sub>/Yb<sub>n</sub></b>	7,69	12,21	3,39	2143,98	23,75	29,17	95,66	14,25	24,43	.....

Tb e Tm &gt; 0,01

Tabela 15: ETR em µg/L no período de estiagem (julho).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente	ΣETR
<b>La</b>	0,17	0,07	0,05	0,14	0,11	0,28	0,11	0,09	0,38	1,40
<b>Ce</b>	0,32	0,11	0,09	0,22	0,22	0,48	0,40	0,19	0,75	2,78
<b>Pr</b>	0,04	0,01	0,01	0,02	0,03	0,06	0,03	0,02	0,08	0,30
<b>Nd</b>	0,18	0,06	0,04	0,1	0,12	0,25	0,12	0,09	0,30	1,26
<b>Sm</b>	0,04	<0,02	<0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	<0,02	0,06	0,20
<b>Gd</b>	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04	0,22
<b>Dy</b>	0,02	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,13
<b>Er</b>	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,05
<b>Yb</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
<b>Σ ETRL</b>	0,75	0,25	0,19	0,50	0,50	1,11	0,68	0,39	1,57	5,94
<b>Σ ETRP</b>	0,07	0,03	0,01	0,03	0,03	0,11	0,04	0,03	0,07	0,42
<b>Σ ETR</b>	0,82	0,28	0,20	0,53	0,53	1,22	0,72	0,42	1,64	6,36
<b>Lan<sub>n</sub>/Yb<sub>n</sub></b>	17,65	7,27	5,19	14,53	11,42	14,53	11,42	9,34	39,45	.....

Eu, Tb, Ho, Tm e Lu &gt; 0,01

Tabela 16: ETR em µg/L no período de transição para o chuvoso (setembro).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig. 1	Ig. 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente	ΣETR
<b>La</b>	0,12	0,20	10,23	0,74	43,05	0,43	1,48	0,87	0,42	57,54
<b>Ce</b>	0,21	0,12	0,17	0,32	0,47	0,53	0,72	0,10	0,77	3,41
<b>Pr</b>	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,05	0,01	0,08	0,35
<b>Nd</b>	0,12	0,06	0,08	0,15	0,19	0,22	0,20	0,05	0,31	1,38
<b>Sm</b>	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	<0,02	0,05	0,20
<b>Gd</b>	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,04	0,03	<0,01	0,03	0,20
<b>Dy</b>	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	<0,01	0,02	0,19
<b>Er</b>	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,05
<b>Yb</b>	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,05
<b>Σ ETRL</b>	0,48	0,39	10,50	1,28	43,80	1,28	2,49	1,03	1,63	62,88
<b>Σ ETRP</b>	0,05	0,03	0,02	0,06	0,08	0,11	0,09	<0,01	0,05	0,49
<b>Σ ETR</b>	0,53	0,42	10,52	1,34	43,88	1,39	2,58	1,03	1,68	63,37
<b>Lan<sub>n</sub>/Yb<sub>n</sub></b>	12,46	20,76	1062,02	76,82	4469,22	22,32	153,65	90,32	43,60	.....

Eu, Tb, Ho, Tm e Lu &gt; 0,01

A normalização dos ETR em função dos condritos revela, em geral empobrecimento que é mais acentuado para os ETRP, exceto no Aripuanã e Acari no período chuvoso e no igarapé 2 na transição para a estiagem onde os ETRL-Sm-Eu têm razões > 1. Há anomalias positivas esporádicas em Ce no Jatuarana no período chuvoso,

em Eu no Juma na transição para a estiagem e em Tb em quase todas as drenagens na estiagem (Figura 7).

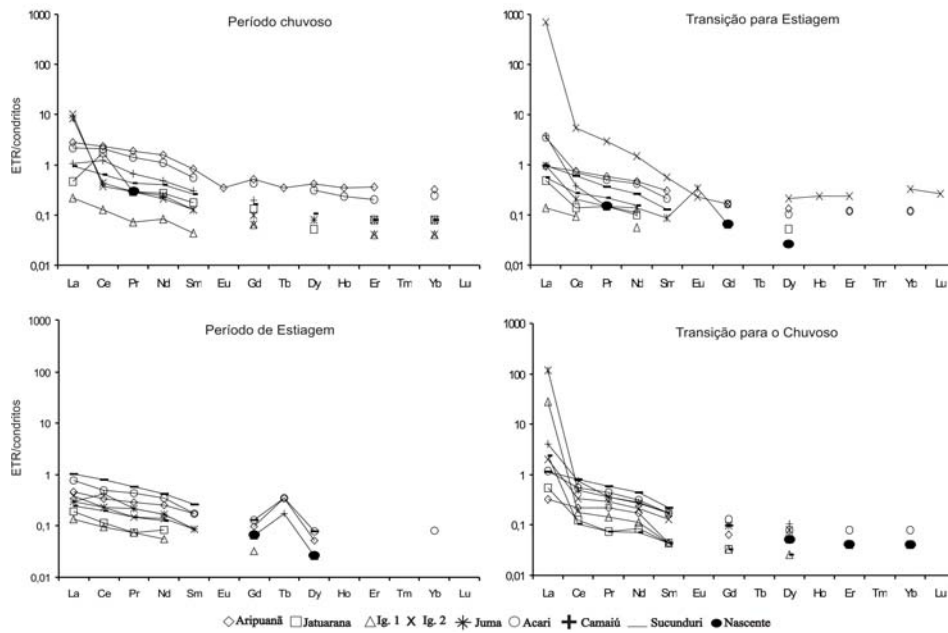


Figura 7: Normalização dos ETR em função dos condritos.

Em relação à crosta continental a diferença está apenas no empobrecimento mais acentuado que em relação aos condritos (Figura 8). As curvas são plano-paralelas e há enriquecimento somente do La em relação aos demais ETR.

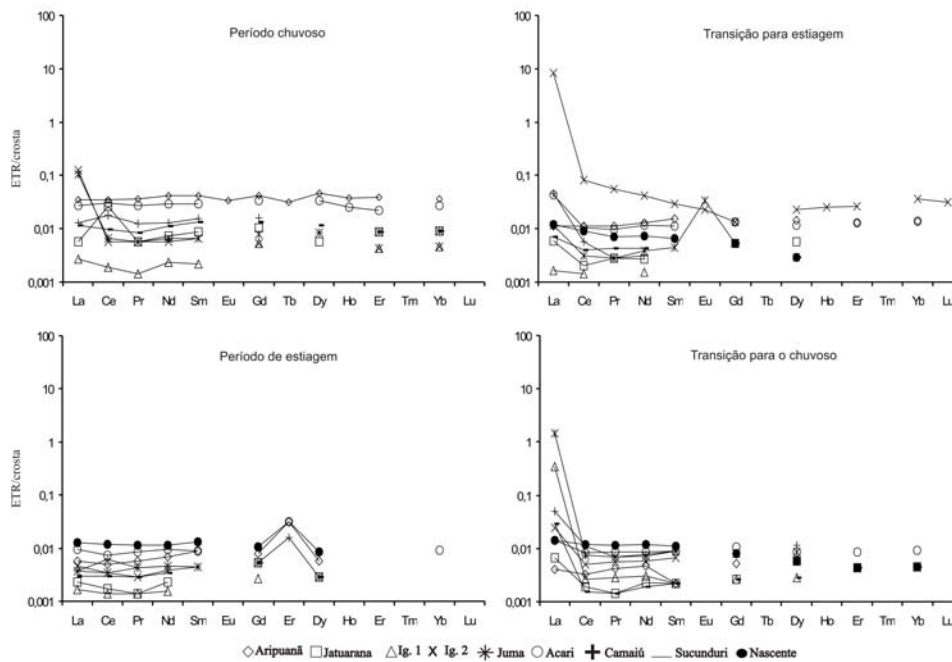


Figura 8: Comportamento dos ETR normalizados pelos valores da crosta terrestre.



## 6.5 Análise Estatística Multivariada

Utilizou-se nesse trabalho a técnica de exploração multivariável, com análise de agrupamento de amostras. Os íons e os locais de coleta foram agrupados pelo método Ward, com distâncias de 1- Pearson r (Figura 9 e 10).

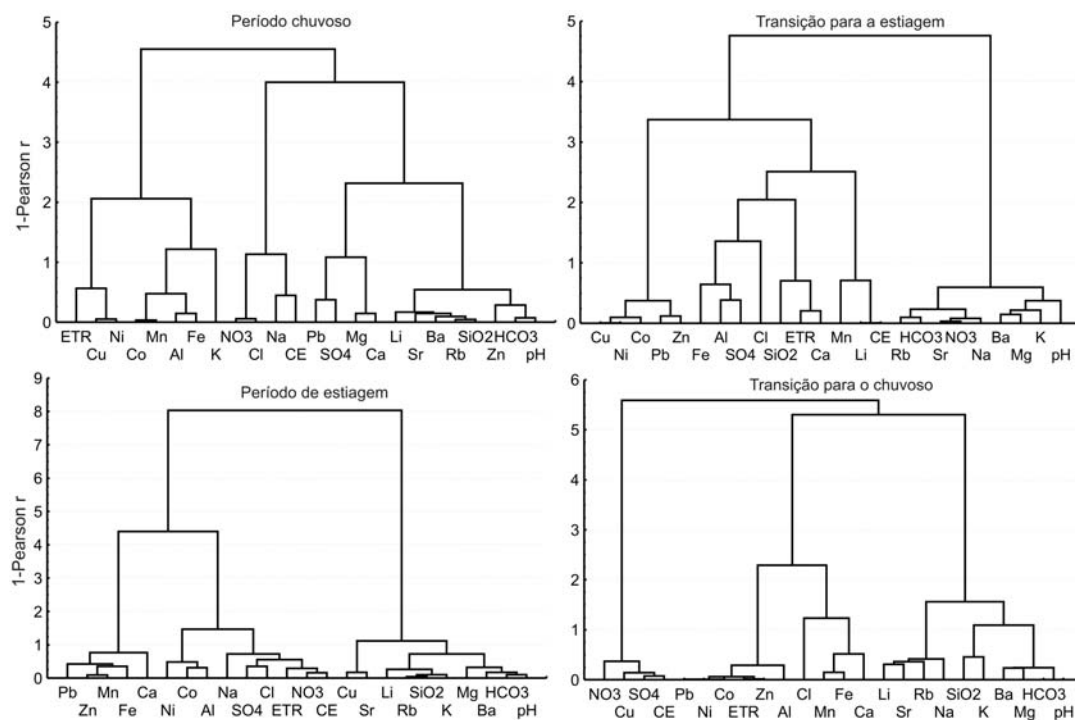


Figura 9: Agrupamento de íons, por análise de Cluster pelo método Ward, com distâncias 1-Pearson r.

Três grandes associações de elementos são definidas para os quatro períodos analisados (Figura 10 e tabela 17), mas cada período agrupa os elementos de modo distinto o que reforça a heterogeneidade química das águas ao longo do ciclo hidrológico e que o controle dos elementos-traços pelos íons mais abundantes é variável. Por exemplo, a CE que mede de modo indireto a concentração dos elementos dissolvidos e, portanto poderia ter maior afinidade com os íons mais concentrados, forma associação com maior número de elementos e com  $\text{SiO}_2$ , que é o mais abundante nas águas, somente na transição para a estiagem. Por outro lado, o pH que normalmente é controlado pela presença de  $\text{HCO}_3$  e  $\text{NO}_3$  (Sperling, 1996; Esteves, 1998) produtos da degradação da matéria orgânica, mantém correlação com os dois na transição para a estiagem e com o primeiro na transição para o chuvoso. O Cu, Ni, Co, Pb e Zn mantém correlação entre si mas não com o Fe com quem normalmente se associam, na transição para a estiagem.

Tabela 17: Associações químicas identificadas em cada período segundo a análise de agrupamento de Cluster, pelo método Ward e distâncias de 1-Pearson r.

Chuvoso	T Estiagem	Estiagem	T Chuvoso
ETR-Cu-Ni	Cu-Ni-Co- <b>Pb-Zn</b>	Pb- <b>Zn-Mn</b> -Fe-Ca	NO <sub>3</sub> -Cu- <b>SO<sub>4</sub>-CE</b>
<i>Co-Mn-Al-Fe-K</i>	Fe- <b>Al-SO<sub>4</sub>-Cl</b>	Ni- <i>Co-Al</i>	<b>Pb-Ni</b> -Co-ETR-Zn-Al
<b>NO<sub>3</sub>-Cl-Na-CE</b>	SiO <sub>2</sub> -ETR-Ca	Na- <b>SO<sub>4</sub>-Cl</b> -ETR-NO <sub>3</sub> -CE	<b>Cl-Mn-Fe</b> -Ca
Pb-SO <sub>4</sub> - <b>Mg-Ca</b>	Mn-Li-CE	<b>Cu-Sr</b>	Li-Sr-Rb-Na
Li-Sr-Ba-Rb-SiO <sub>2</sub>	<b>Rb-HCO<sub>3</sub></b> -Sr-NO <sub>3</sub> -Na	Li-Rb-SiO <sub>2</sub> -K	<b>SiO<sub>2</sub>-K</b> -Ba-Mg-HCO <sub>3</sub> -pH
Zn- <b>HCO<sub>3</sub>-pH</b>	Ba-Mg-K-pH	Mg-Ba- <b>HCO<sub>3</sub>-pH</b>	

Em negrito e em itálico são identificadas associações secundárias.

Não foi possível identificar nas associações formadas durante o ciclo hidrológico influência geológica (Figura 11 e tabela 18). Isso deve estar relacionado a pouca diversidade dos tipos litológicos formados basicamente de rochas félsicas e sedimentares derivadas destas. Contudo, a associação que melhor define o arranjo entre as bacias é a da transição para a estiagem, apesar das associações mais evidentes serem entre o Sucunduri e Camaiú, igarapés 1 e 2 e entre os rios Juma e Jatuarana.

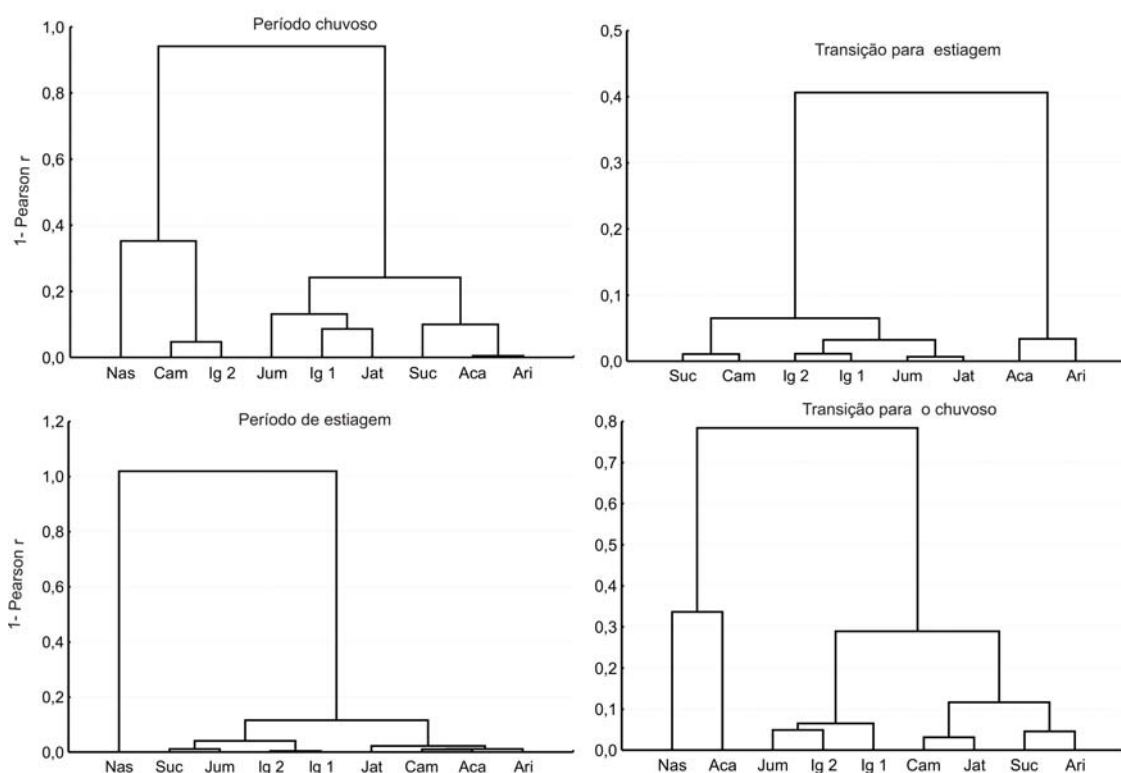


Figura 10: Agrupamento dos locais de coleta, por análise de Cluster pelo método Ward, com distâncias 1- Pearson r.

Tabela 18: Grupos de drenagens geoquimicamente similares identificados em cada período segundo a análise de agrupamento pelo método Ward com distâncias de 1-Pearson r.

Chuvoso	T estiagem	Estiagem	T Chuvoso
<i>Nascente-Camaiú-Ig. 2</i>	<i>Sucunduri-Camaiú-Ig. 2-Ig. 1-Juma-Jatuarana</i>	Nascente	<i>Nascente-Acari</i>
<i>Juma-Ig.1-Jatuarana-Sucunduri-Acari-Aripuanã</i>	<i>Acari-Aripuanã</i>	<i>Sucunduri-Juma-Ig.2-Ig.1-Jatuarana-Camaiú-Acari-Aripuanã</i>	<i>Juma-Ig.2-Ig.1-Camaiú-Jatuarana-Sucunduri-Aripuanã</i>

Em negrito e em itálico são identificadas as associações secundárias.

## 7. SÍNTESE DOS RESULTADOS

As águas das drenagens estudadas são de cor preta pela clássica classificação de Sioli (1958), embora elas se diferenciem em muitos aspectos físico-químicos. São águas com baixa turbidez em função do pouco material em suspensão, são ácidas (pH de até 3,2) e pouco condutivas (entre 23,1 e 64,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), especialmente na transição para a estiagem (maio). O TDS de 6.000 a 14.000  $\mu\text{g}/\text{L}$  indicam águas diluídas que podem ser classificadas entre muito diluídas ( $\Sigma^+ < 0,375$ ) a extremamente diluídas ( $\Sigma^+ < 0,185$  – Meybeck, 1979). Esses indicadores são comparáveis a outros rios semelhantes (Gaillardet *et al.* 1997, Tosiani *et al.* 2004 e Queiroz *et al.* 2008) (Tabela 19).

Tabela 19: concentração dos elementos maiores em diversos rios do mundo ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ).

	pH	Na + K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	Al	Zn	Ba	Mn
Negro*	4,8	790	3600	97,2	568	<10	192	3600	414,2	114	1,8	6,1	8
Urucará*	6,4	2209	1400	388,8	745,5	669,6	576	6300	266	53	6,3	18,1	20
Solimões*	7,1	3312	7440	1215	2201	2989	1920	9000	14	184	2,8	27,8	14
Amazonas*	6,8	2300	5200	1000	1100	200	1700	7200	30	122	4,2	9,9	21
Orinoco**	6,4	1099	1646	999,9	1672,4	669,6	199,6	9791,4	760,4	206	226,1	5,7	12,6
Mississipi**	6,8	13800	34000	8900	10300	11600	25500	7600	4300	1200	210	8,3	40
Congo**	7,2	2800	2400	1300	2900	1100	3000	9800	179	51	<10	65	<10
Madeira*	6,7	2300	2640	1215	461,5	1586	3264	8400	18	3	0,7	17,8	3
Trombetas*	6,1	1610	440	218,7	745	2379	384	6180	87	39	1,2	14,1	19
Tapajós*	6,6	1578	840	413,1	426	6954	288	9600	<20	15	1,0	21,2	1
Urucu***	4,6	810	420	115	458	<10	140	3300	380	120	1,4	7,2	4
Coari***	5,8	2760	630	270	400	5070	3720	7790	238	51	15	9	7
Badajós***	6,4	2840	1940	520	700	6300	5000	4330	189	27	11	19	24
Anamã***	6,9	3750	8990	1340	800	2519	5420	4310	216	99	43	53	37

\* Gaillardet *et al.* (1997), \*\*Tosiani *et al.* (2004) e \*\*\*Queiroz *et al.* (2008)

Caracterizam-se pelo desequilíbrio de cargas (NBCI entre 0,1 e 0,9) com predominância de cátions sobre ânions, especialmente no período de estiagem. Normalmente o desequilíbrio de cargas é atribuído aos íons orgânicos, como formaldeídos, acetatos e oxalatos identificados nos cromatogramas, mas não

quantificados (Figura 11). Contudo, na nascente são os teores mais elevados em  $\text{NO}_3$  que permitem o melhor balanço de cargas (NBCI entre -0,2 e -0,4), inclusive com predominância de cargas negativas sobre as positivas. Mas o  $\text{NO}_3$  não está relacionado com a matéria orgânica, pois a nascente, em dezembro é a que tem menor quantidade de matéria orgânica em relação às drenagens. Do mesmo modo, a relação direta entre matéria orgânica e pH indica que águas mais ácidas tem menor teor de matéria orgânica (Figura 12).

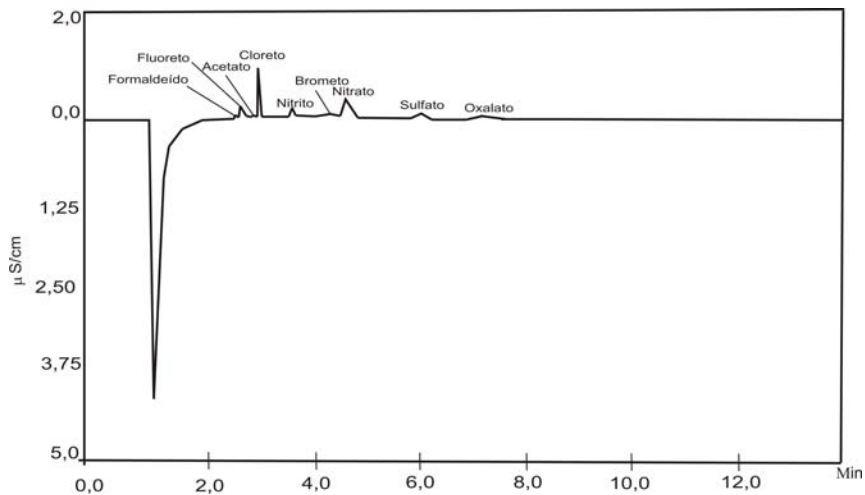


Figura 11: Cromatograma do rio Jatuarana, na transição para estiagem.

Ao mesmo tempo a relação água mais ácida - maior condutividade elétrica é aplicada para a nascente, mas não para a das drenagens. No geral, as águas mais ácidas são as menos condutivas, especialmente na transição para a estiagem (maio) quando as drenagens estão no máximo da sua cheia, enquanto as menos ácidas e mais condutivas são as da transição para o chuvoso que equivale ao nível mais baixo (Figura 13).

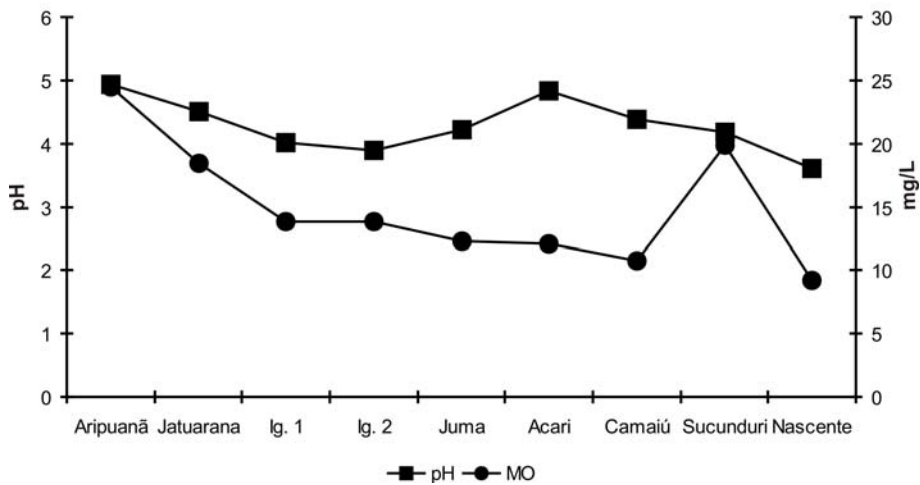


Figura 12: Relação pH e DQO (Demanda Química de Oxigênio) em dezembro de 2009.

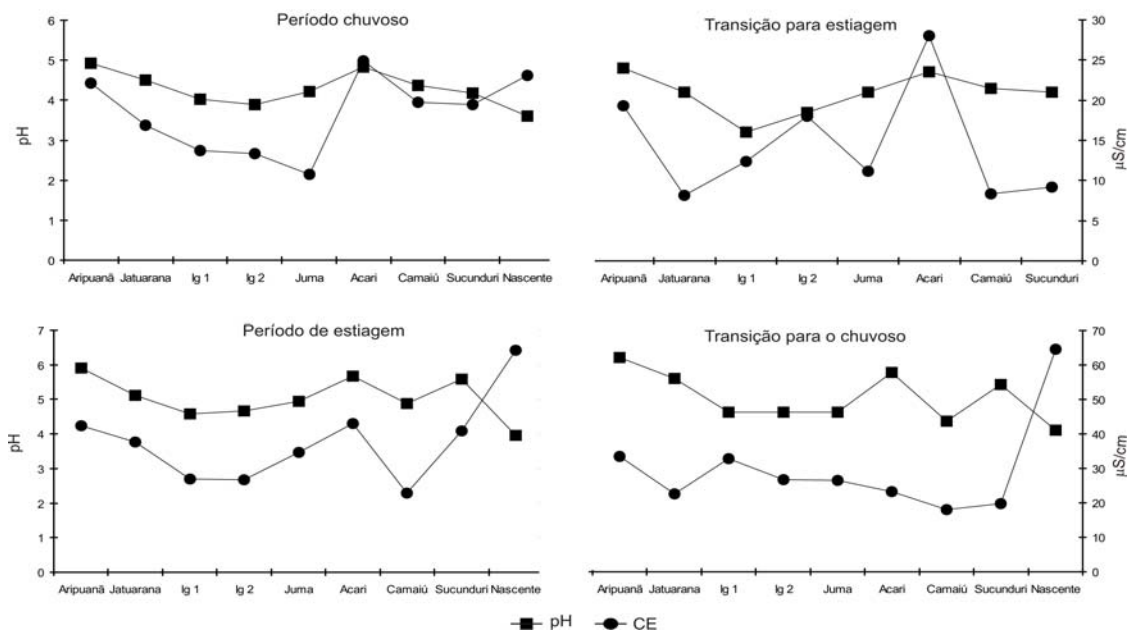


Figura 13: Relação pH e Condutividade elétrica para as águas de Apuí.

As águas mais concentradas quando os rios estão com o menor volume e as menos na transição para a estiagem, indicam forte influência do ciclo hidrológico na dinâmica química desses rios. O  $\text{SiO}_2$  é sempre o mais elevado o que classifica as águas como silicáticas, e dentre os cátions a predominância de K e entre os ânions  $\text{NO}_3$  e secundariamente Cl permite também classificá-las também como potássicas e nitradas (Tabela 20 e Figura 14). Entre os períodos K, Ca, Mg, Cl,  $\text{SO}_4$  são mais elevados na transição para a estiagem o que corresponde a maior TDS.  $\text{NO}_3$  é mais concentrado na transição para a estiagem, assim como os elementos-traço no chuvoso. O Fe é em geral o elemento-traço mais concentrado, seguido do Al, mas essa tendência é alterada no período chuvoso, quando o Zn supera o Fe nos rios Aripuanã, Juma e Igarapé 1 (Tabelas 5 a 12 e 20 e 21). O Na se diferencia por ter baixa concentração na transição para a estiagem. Os ETR devido aos teores anômalos de La, especialmente na transição para a estiagem, fazem com que este seja o período com maior concentração. A nascente se caracteriza por elevadas concentrações de  $\text{NO}_3$ , seguido por  $\text{SiO}_2$ , Na ou K e dentre os elementos-traços o Al é mais elevado.

Tabela 20: Ordem de abundância dos elementos dissolvidos.

	Chuvoso	Transição para Estiagem	Estiagem	Transição para o Chuvoso
Aripuanã	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Na>Mg>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Zn>Fe>Al>Mn>Ba>P	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Mg>Ca>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Mn>Zn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Ca>Mg>Cl>NO <sub>3</sub> >HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Al>Fe>Ba>Sb>Zn>Mn>Sr>Rb>Sr	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Ca>Mg>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Ba>Sr>Zn>Mn>
Jatuarana	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Mg>Na>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Zn>Fe>Al>Mn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Mg>Ca>Na>NO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl>HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Mg>Ca>Na>NO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl>HCO <sub>3</sub> +Al>Fe>Zn>Ba>P>Mn>P	SiO <sub>2</sub> >K>Mg>Na>Ca>NO <sub>3</sub> >Cl>HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>P
Ig. 1	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Mg>Na>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Zn>Fe>Al>Mn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Mg>Na>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Mn>Zn>Ba	SiO <sub>2</sub> >Ca>K>Na>Mg>SO <sub>4</sub> >Cl>NO <sub>3</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>Ba	SiO <sub>2</sub> >Ca>K>Na>Mg>Cl>SO <sub>4</sub> >NO <sub>3</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>P
Ig. 2	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Ca>Mg>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Zn>Al>Mn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Mg>Ca>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Mn>Zn>Ba	SiO <sub>2</sub> >Ca>K>Na>Mg>Cl>NO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>P	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Na>Mg>Cl>NO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Mn>Zn>P
Juma	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Na>Mg>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Zn>Fe>Al>Mn>Ba>P	SiO <sub>2</sub> >K>Mg>Ca>Na>NO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl>HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Mn>Zn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Mg>Na>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Mn>Zn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Mg>Na>NO <sub>3</sub> >Cl>HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Fe>Al>Mn>Zn>Ba>Cu
Acari	SiO <sub>2</sub> >Na>K>Ca>Mg>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Zn>Fe>Al>Mn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Mg>Ca>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Mg>Ca>NO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Cl>Fe>Al>Zn>Mn>Ba>Sb	SiO <sub>2</sub> >Na>Mg>Ca>K>NO <sub>3</sub> >Cl>HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>Ba
Camaiú	SiO <sub>2</sub> >K>Mg>Ca>Na>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>Ba>P	SiO <sub>2</sub> >K>Mg>Na>Ca>Cl>NO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Mg>Ca>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Ca>Mg>Cl>NO <sub>3</sub> >HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Fe>Al>Mn>Zn
Sucunduri	SiO <sub>2</sub> >Ca>Mg>K>Na>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Zn>Fe>Al>Mn	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Mg>Na>NO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl>HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Zn>Mn>Ba	SiO <sub>2</sub> >K>Mg>Ca>Na>NO <sub>3</sub> >HCO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >Al>Fe>Ba>Sb>Zn>Mn>Ba>Sb>P	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Mg>Na>NO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Fe>Al>Ba>Mn
Nascente	NO <sub>3</sub> >SiO <sub>2</sub> >Na>K>Ca>Mg>SO <sub>4</sub>	Al>Zn>Mn>Ba>Cu>Pb>Ni	NO <sub>3</sub> >SiO <sub>2</sub> >Na>K>Mg>Ca>Cl>SO <sub>4</sub> >Al>Fe>Rb>Ba>Sb>Rb>Zn>Mn	NO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >SiO <sub>2</sub> >K>Ca>Na>Mg>Cl>HCO <sub>3</sub> >Al>Cu>Zn>Mn

Tabela 21: Ordem decrescente da concentração média anual dos íons e dos elementos traços dissolvidos nas águas.

Drenagens	Íons e elementos-traço
Aripuanã	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Ca>NO <sub>3</sub> >Mg>Cl>Zn>Fe>HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Al>Ba>Sr>Rb>Mn>Pb>Cu=Ni
Jatuarana	SiO <sub>2</sub> >Ca>K>Mg>NO <sub>3</sub> >Fe>Zn>Cl>Al>SO <sub>4</sub> >Na>HCO <sub>3</sub> >Mn>Pb>Ba>Rb>Sr>Cu>Ni
Igarapé 1	SiO <sub>2</sub> >K>Fe>NO <sub>3</sub> >Cl>Zn>Na>Ca>Al>Mg>SO <sub>4</sub> >Mn>HCO <sub>3</sub> >Ba>Sr>Rb>Pb>Cu>Ni
Igarapé 2	SiO <sub>2</sub> >NO <sub>3</sub> >K>Na>Fe>Cl>Ca>Al>SO <sub>4</sub> >Mg>Zn>HCO <sub>3</sub> >Mn>Ba>Sr>Rb>Cu>Pb>Ni
Juma	SiO <sub>2</sub> >K>NO <sub>3</sub> >Fe>Ca>Na>Mg>Cl>Al>SO <sub>4</sub> >Zn>Mn>HCO <sub>3</sub> >Ba>Pb>Cu>Sr>Rb>Ni
Acari	SiO <sub>2</sub> >K>Na>Ca>NO <sub>3</sub> >Mg>Zn>Fe>Cl>HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Al>Ba>Mn>Sr>Rb>Pb>Cu>Ni
Camaiú	SiO <sub>2</sub> >NO <sub>3</sub> >K>Fe>Na>Cl>Ca>Al>Mg>SO <sub>4</sub> >Zn>HCO <sub>3</sub> >Mn>Ba>Rb>Sr>Pb>Cu>Ni
Sucunduri	SiO <sub>2</sub> >K>Ca>NO <sub>3</sub> >Mg>Na>Cl>Fe>SO <sub>4</sub> >Al>Zn>HCO <sub>3</sub> >Ba>Mn>Rb>Sr>Cu>Pb>Ni
Nascente	NO <sub>3</sub> >SiO <sub>2</sub> >Na>K>Cl>Ca>SO <sub>4</sub> >Mg>HCO <sub>3</sub> >Zn>Al>Fe>Cu>Ni>Mn>Sr>Ba>Pb>Rb

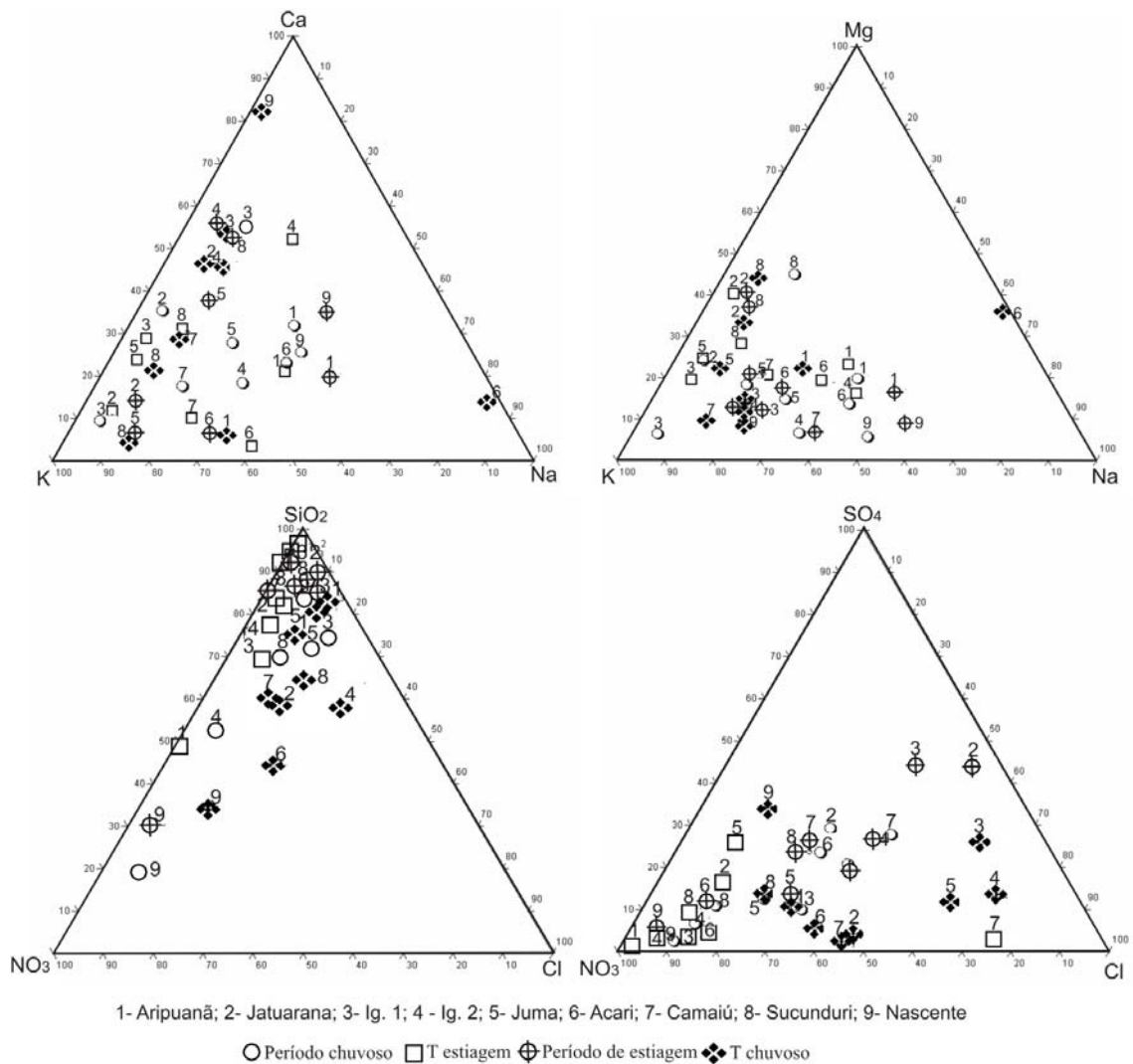


Figura 14: Diagramas para classificação das águas.

A compatibilidade da química das águas com o campo da caulinita e gibbsita indica ambiente altamente lixiviado com baixa retenção de cátions (Figura 15 A). A tendência das águas no período de transição para a estiagem, quando os rios estão mais cheios, serem compatíveis com o campo da gibbsita, reflete a maior diluição das águas nesse período, enquanto nos períodos de transição para o chuvoso e chuvoso, tendem ao campo da caulinita o que sugere ambiente compatível com sua formação. Isso é indicativo que a intensidade da precipitação está diretamente relacionada com a formação desses minerais e que as águas estudadas são típicas representantes do domínio da precipitação de Gibbs (1972) (Figura 15 B).

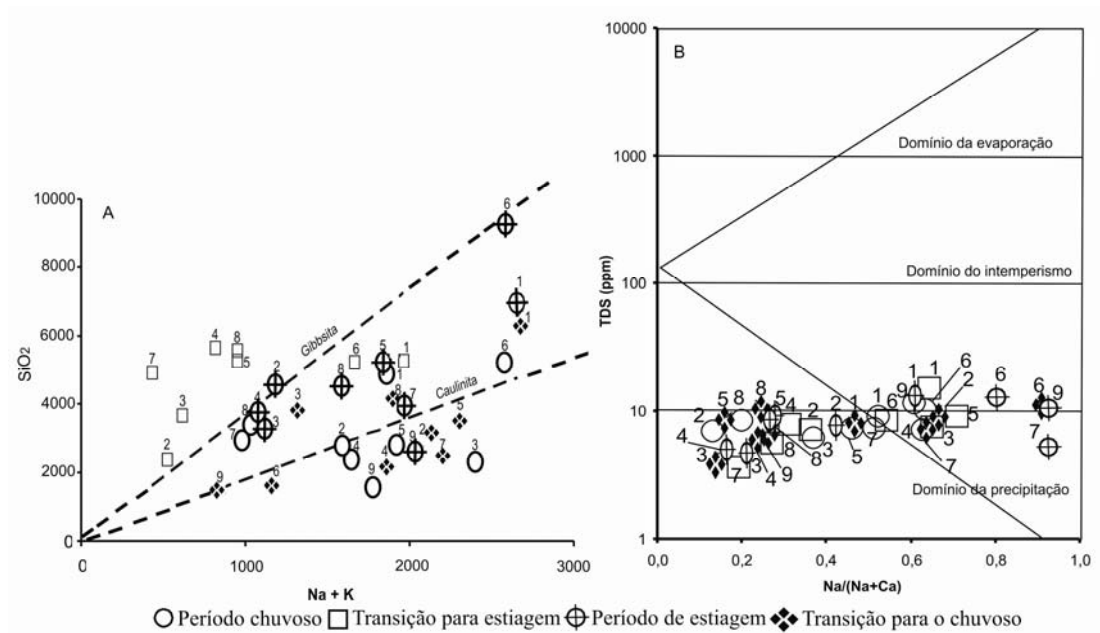


Figura 15: Diagrama de estabilidade (A) Na + K em função de SiO<sub>2</sub> (Edmond et al. 1995) e (B) Na/(Na+Ca) em função dos TDS (Gibbs1972).

### 7.1 Origem dos elementos dissolvidos nas águas

A Terra é formada basicamente de três tipos de rochas: os evaporitos, carbonatos e silicatos esta última representada pelas rochas do cráton e cada uma delas tem uma assinatura geoquímica distinta (Gaillardet et al. 1997 - Tabela 22). Para correlacionar as águas com os tipos básicos de rochas há necessidade de retirar a contribuição da água da chuva. Para tal foi obtida a composição média das águas a partir dos valores mensais (Tabela 23) e utilizado o Cl na equação  $C_x = ([C_x]_{\text{rio}} - (C_x/C_{\text{Cl}})_{\text{mar}}) \times [C_{\text{Cl}}]_{\text{chuva}}$  de Millot et al. (2002) o que resultou nos dados da tabela 24. Constata-se que a influência da precipitação é muito pequena, mesmo para SiO<sub>2</sub> onde o aporte da precipitação é de no máximo 138 µg/ L e representa apenas 2% do total.

Tabela 22: Razões de rochas reservatórios nas águas de rios da Amazônia, segundo Gaillardet et al. (1997).

	Evaporitos	Carbonatos	Craton	rio Solimões	rio Negro
Ca/Na	0,17	45	0,35	0,5	1
Sr/Na	3	40	3	5	5
HCO <sub>3</sub> /Na	0,3	90	1	2	3
Mg/Na	0,02	15	0,24	0,5	0.6



Tabela 23: Composição química média dos rios, da nascente, da chuva (em µg/L) e da crosta (ppm).

	Aripuanã	Jatuarana	Ig 1	Ig 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente	Chuva*	Crosta**
pH	5,7	5,1	4,3	4,4	4,7	5,5	4,6	5,0	4,1	5,5	....
CE	24,0	16,6	18,1	17,9	16,5	24,4	14,4	17,2	39,9	...	....
Turbidez	5,3	3,8	2,9	3,0	14,1	8,3	3,4	3,8	0,1	...	.....
Na	1047,0	144,9	197,6	461,0	475,6	1050,2	397,4	253,2	956,7	1857,5	28900
K	1344,5	922,5	775,2	894,0	1448,3	1758,7	1072,1	1292,3	802,3	132,6	28000
Ca	1009,6	950,8	195,3	226,7	688,4	791,0	185,0	1113,0	427,1	230,0	30000
Mg	512,1	558,1	164,3	137,8	369,9	435,3	176,9	761,8	142,8	28,8	13300
SiO <sub>2</sub>	4882,0	3741,5	2930,5	3177,0	3986,0	6636,5	3230,0	3904,5	1996,7	36,0	660000
Cl	303,0	300,0	270,4	341,8	327,3	287,0	338,4	220,5	633,1	399,0	....
HCO <sub>3</sub>	182,0	101,4	52,6	50,0	73,4	191,8	115,2	120,0	28,9	...	....
NO <sub>3</sub>	928,6	452,0	394,6	1240,9	783,6	660,1	1311,5	896,5	5792,4	254,2	....
SO <sub>4</sub>	153,7	207,7	131,0	152,1	175,0	174,7	152,0	162,3	349,9	1612,8	.....
TDS	10362,5	7378,9	5111,5	6681,3	8327,5	11985,3	6978,5	8724,1	11129,9	4550,9	.....
ueq/L <sup>+</sup>	172,6	123,4	51,8	65,6	122,7	166,1	68,6	162,5	95,3	98,0	.....
ueq/L <sup>-</sup>	29,6	21,7	17,5	33,6	25,4	25,4	35,7	26,0	119,0	51,8	.....
NBCI	0,8	0,8	0,7	0,5	0,8	0,8	0,5	0,8	-0,2	0,5	.....
Fe	253,8	439,5	540,3	378,0	712,5	346,5	542,8	172,5	29,7	11,5	35000
Al	128,5	238,3	186,5	212,5	323,8	144,5	181,8	152,8	345,7	15,1	80400
Zn	288,3	385,0	256,2	100,6	174,6	368,2	131,7	128,1	7,8	26,4	71
Mn	4,0	17,5	69,6	22,8	81,5	13,3	21,7	9,0	9,3	3,5	600
Rb	4,7	2,8	2,3	2,3	4,2	6,4	3,5	3,7	6,6	0,3	112
Sr	12,7	2,7	2,6	2,7	5,7	7,4	2,1	3,7	1,4	2,7	350
Ba	34,6	9,7	7,8	10,3	15,0	24,6	11,2	29,7	6,2	0,6	550
Cu	0,4	0,6	0,5	1,2	7,1	0,9	0,5	0,6	0,2	3,9	25
Ni	0,4	0,5	0,3	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2	0,3	3,6	20
Pb	0,5	13,4	1,0	0,9	12,0	1,2	0,8	0,6	48,6	0,6	20
ΣETR	2,1	0,9	2,8	66,6	12,3	2,4	1,8	0,9	1,1	...	.....

\*Honório, 2007 e \*\*Taylor e MacLennan, 1995.

Tabela 24: Composição média da águas das drenagens e da nascente subtraída à influência da água da chuva

	Aripuanã	Jatuarana	Ig 1	Ig 2	Juma	Acari	Camaiú	Sucunduri	Nascente
Na	1025,4	141,9	193,5	451,5	465,8	1028,6	389,2	248,0	937,0
K	1316,8	903,5	759,2	875,6	1418,4	1722,4	1050,0	1265,7	785,8
Ca	988,8	931,2	191,3	222,0	674,2	774,7	181,2	1090,1	418,3
Mg	501,5	546,6	160,9	135,0	362,3	426,3	173,3	746,1	139,9
SiO <sub>2</sub>	4781,4	3664,4	2870,1	3111,5	3903,8	6499,7	3163,4	3824,0	1955,5
Cl	296,8	293,8	264,8	334,8	320,6	281,1	331,4	216,0	620,0
HCO <sub>3</sub>	178,2	99,3	51,5	49,0	71,9	187,8	112,8	117,5	28,3
NO <sub>3</sub>	909,5	442,7	386,5	1215,3	767,4	646,5	1284,5	878,0	5673,0
SO <sub>4</sub>	150,5	203,4	128,3	149,0	171,4	171,1	148,9	159,0	342,7
Fe	248,6	430,4	529,2	370,2	697,8	339,4	531,6	168,9	11,3
Al	125,9	233,4	182,7	208,1	317,1	141,5	178,1	149,7	14,8
Zn	282,4	377,1	250,9	98,5	171,0	360,6	129,0	125,5	25,9
Mn	3,9	17,1	68,2	22,3	79,8	13,0	21,3	8,8	3,4
Rb	4,6	2,7	2,3	2,3	4,1	6,3	3,4	3,6	0,3
Sr	12,4	2,6	2,5	2,6	5,6	7,2	2,1	3,6	2,6
Ba	33,9	9,5	7,6	10,1	14,7	24,1	11,0	29,1	0,6
Cu	0,4	0,6	0,5	1,2	7,0	0,9	0,5	0,6	3,8
Ni	0,4	0,5	0,3	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2	3,5
Pb	0,5	13,1	1,0	0,9	11,8	1,2	0,8	0,6	0,6

$C_X = ([C_X]_{\text{rio}} - (C_X/C_{Cl})_{\text{mar}} \times [C_{Cl}]_{\text{chuva}})$  de Millot et al, (2002).

As razões Ca/Na x Mg/Na demonstram afinidade com as rochas silicáticas em geral representada pelo cráton, mas há indicativo de influência de carbonáticas no Jatuarana e Sucundurí onde os teores de Ca e Mg são mais elevados. Há também afinidade com as águas do rio Negro e com as água brancas do rio Solimões, apesar dos rios estudados serem todos de água preta (Figura 16).

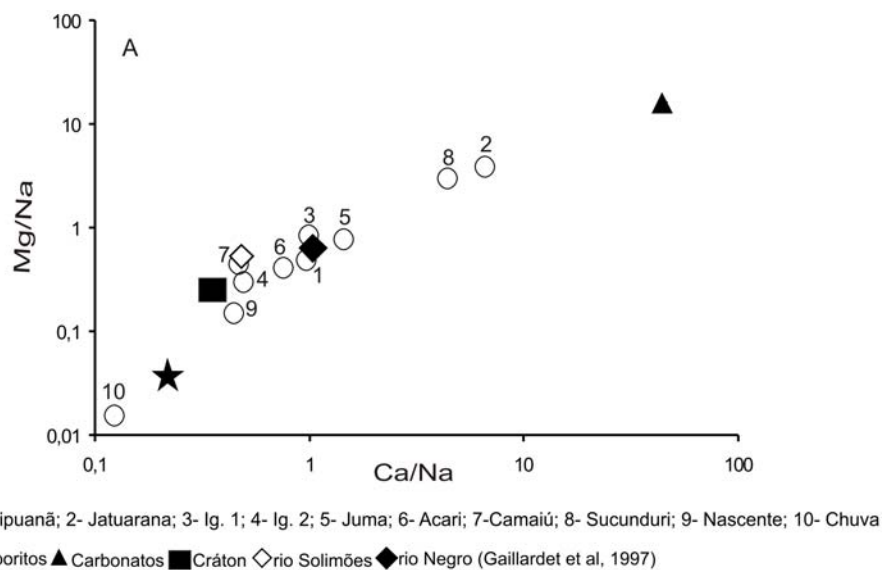


Figura 16: Razões iônicas Ca/Na em função de Mg/Na.

Considerando-se a composição química média das drenagens (Tabela 20) há enriquecimento em SiO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub>, Fe, Zn, Sr, Ba e Cu e, em parte para K, Ca, Mg e Mn e empobrecimento em Na, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Al e Pb em relação à água da nascente (Figura 17 A). Em relação à composição média anual da precipitação na região (Honório, 2007), somente Na, SO<sub>4</sub>, Cu e Ni estão empobrecidos e dentre os enriquecidos se destacam SiO<sub>2</sub>, Fe, Al, Zn, Rb e Ba (Figura 17 B). A nascente diferencia-se das drenagens pelo maior enriquecimento em NO<sub>3</sub> e Pb e empobrecimento mais acentuado em Zn e Cu. Quanto à crosta continental as águas estão empobrecidas, contudo esse empobrecimento é menor em Zn e Pb e a nascente se diferencia apenas pelo maior empobrecimento em Fe e Zn (Figura 17 C).

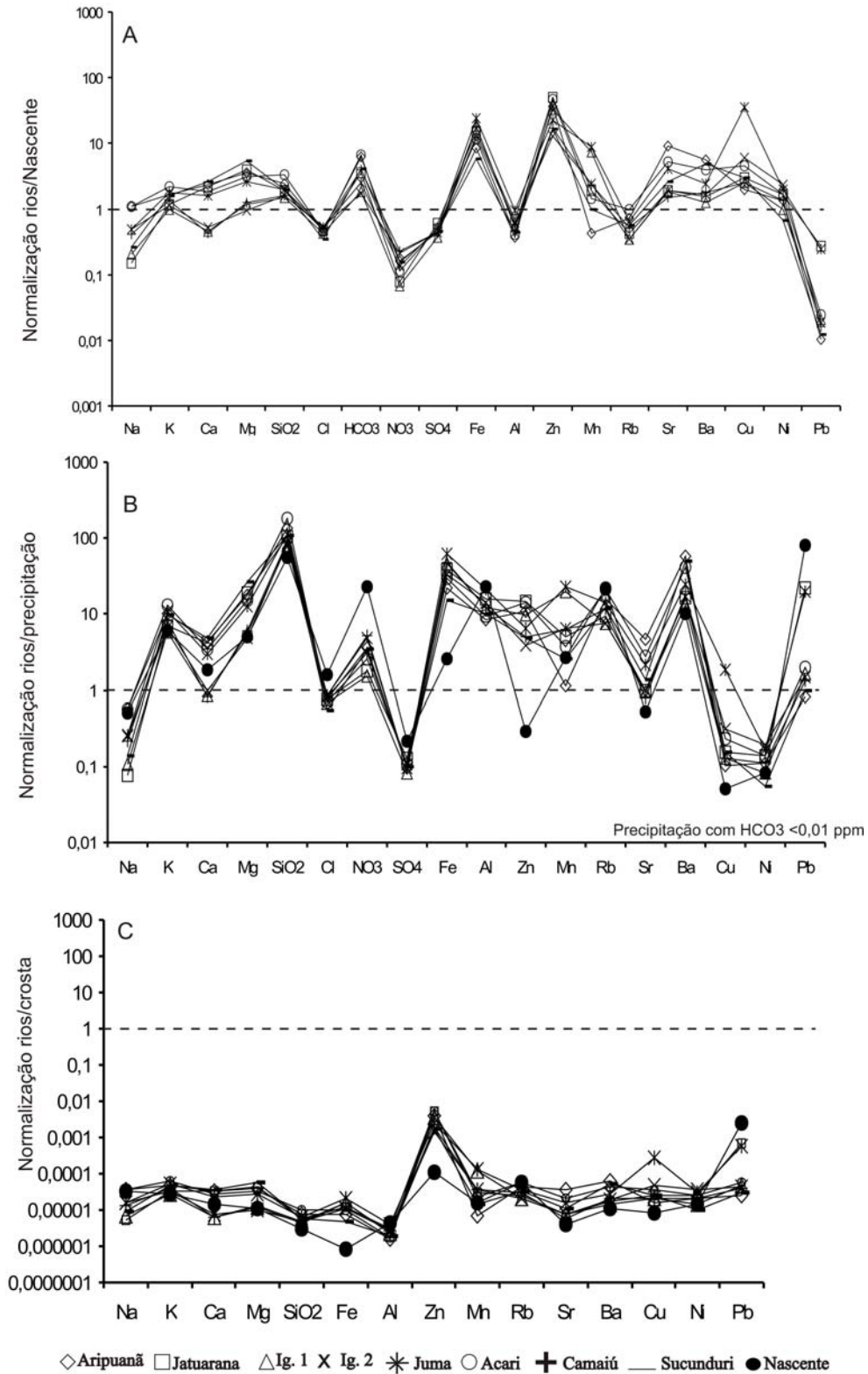


Figura 17: Normalização da concentração média de íons nos rios em função da nascente (A), da precipitação (B) e da crosta continental (C).

## 8. REFERENCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. 2003. Água. NBR 12713. Ensaio de Toxicidade Aguda com *Daphnia similis* Claus (Cladocera Crustacea).
- American Public Health Association– APHA-2005. Standard Methods of the Experimentation of Water and Waster water. New York. 14 ed.
- Aucour. A.M. 1986. Mollusk shells fluvial (Rhône river): A proxy for dissolved inorganic carbon. American Society of limnology and oceanograph 48 (6).
- Bringel, S.R.B. 1986. Estudo do Nível de Poluição dos Igarapés do Quarenta e do Parque Dez de Novembro, Manaus: CODEAMA/UTAM 61. Relatório Técnico.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2001. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas, Boletim técnico.
- Dupré, B; Gaillardet, J; Rousseau, D; Allegre, C. J. 1996. Major and Trace elements of River-Borne material: the Congo Basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol 60: 1301-1321.
- Edmond. J. M; Palmer. M. R; Measures C. I; Stallard. R.F. 1995. The fluvial geochemistry and denudation rate of the Guayana Shield in Venezuela, Colombia an Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 16: 3301-3325.
- Esteves, R. 1998. Fundamentos de Limnologia. Editora de Livros Técnicos, Rio de Janeiro.
- Gaillardet. J; Dupré, B; Allegre. J, C; Negrel, P. 1997. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin, *Chemical Geology* 142: 141-173.
- Geisler, R.M.O.1999. Geoquímica Ambiental Aplicada à Bacia do Igarapé do Quarenta, Município de Manaus-AM. Dissertação (Mestrado em Ciências do Meio Ambiente). Centro de Ciências do Ambiente/Universidade Federal do Amazonas. Manaus.
- Gibbs, R. J, 1972. Water chemistry of Amazon river. *Geochimica. Cosmochimica Acta* 36: 1061-1066.
- Goldstein, S. J; Jacobsen, S. B. 1988. Rare Earth Elements in the River Waters. *Earth and Planetary Science Letter*, 89: 35-47.
- Golterman, H.L. 2002. Methods for Chemical Analysis of Fresh Water, Oxford. Blackwell Scientific Publications, 160 p (IBP Handbook, 8).
- Honório, B e Horbe, A. M. C. 2010. Chemical Composition of rainwater in Western Amazonia-Brazil. *Atmospheric Research* XXX. 230: 10
- Junk, W. J. 1980. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés da bacia amazônica e nas áreas adjacentes, Trecho Cuiabá- Porto Velho- Manaus, *Acta Amazônica* 53: 611-633.
- Junk, Wolfgang J, 1982. As Águas da Região Amazônica, In: *Amazônia – Desenvolvimento, Integração, Ecologia*, São Paulo: Brasília CNPq.
- Lennher, J. A. 1997. Origin and Nature of Humic Substances in the Waters of the Amazon River Basin. *Acta Amazônica*, 10: 513-526.
- Lennher. J.A; Santos, U. M.1982. Considerações Sobre os Processos de Sedimentação na Água Preta Ácida do Rio Negro (Amazônia Central). *Acta Amazônica* 10(2): 343-355.
- Kuchler, I. L; Miekeley, N; Forsberg, B. R. 2000. A Contribution to the Chemical of Rivers in the Rio Negro Basin, Brazil. *Sociedade Brasileira de Química* 11 (3): 286-292
- Koppen, W. 1948. Climatologia. Con un estudio de los clima de la Tierra. Fondo de cultura econômica, México 153-213.

- Meybeck, M. 1979. Concentrations des eaux fluviales en elements majeurs et apports en solution aux oceans. *Rev Geology* 21: 215-246.
- Millot, R; Gaillardet, J; Dupré, B; Allegre, C. J. 2002. The Global control of silicate weathering rates and the coupling with physical erosion: new insights from rivers of the Canadian Shield. *Earth and Planetary Science Letters* 196: 83-98.
- Mortati, J; Probst, J. L. 2003. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO<sub>2</sub> uptake in the Amazon Basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. *Chemical Geology*. 197: 177-196.
- Pinto, A.G.N. 2004. Geoquímica dos Sedimentos do Rio Negro na Orla de Manaus/AM, Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) Departamento de Geociências, UFAM, Manaus/AM.
- Queiroz, M.M; Horbe, A.M.C; Seyler, P; Moura A, C. A. V. 2008. Hidroquímica do rio Solimões entre Manacapuru e Alvarães-Amazonas-Brasil. *Acta Amazônica* 68: 48-52.
- Reis, N. J. 2006. Projeto Rochas Carbonáticas de Apuí - Amazonas. Relatório Final. Informe de Recursos Minerais, Série Insumos Minerais para a agricultura. CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Manaus.
- Reis, N. J. 1983. Projeto ‘Turfa do Médio Amazonas. Relatório de Progresso. Ministério das Minas e Energia. DNPM/CPRM. Manaus.
- Santos. U. M; Bringel, S.R.B; Bergaminho, H; Ribeiro M.N.G. Bananeira, M. 1984. Rios da Bacia Amazônica I. Afluentes do rio Negro. *Acta Amazônica*, 3: 199-207.
- Sardinha, D. S; Conceição, F. T; Bonotto, D.M; Salles, M. H. D; Angelucci, V. A. 2008. Avaliação do Balanço anual de cátions e ânions na bacia do Alto Sorocaba (SP). *Revista Brasileira de Geociências* 38: 730-740.
- Schimidt, G,W.1973. Chemical Properties of Some Water in the Tropical Rainforest Region of Central Amazônia Along the New Road Manaus–Caracaraí, *Amazoniana*, 3: 199-207.
- Sioli, H. 1958. Valores de pH de águas da Amazônia, *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 1: 1-18.
- Sioli, H. 1960. As águas do alto rio Negro, *Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte*, 117:155.
- Sioli, H. 1968. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. *Amazoniana*. 3:267-277.
- Sperling, M. V. 1996. Introdução á Qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª edição. Minas gerais: 120-148.
- Smolder, A. J. P; Hudson-Edwards. K.A; Van Der Velde, G; Roelofs, J. 2004. Control on Water Chemistry of the Pilcomayo river (Bolivia, South-America). *Applied Geochemistry* 19: 1745-1758.
- Stallard. R. F; Edmond, J. M. 1983. The influence of Geology and Weathering Environment on the dissolved load. *Journal of Geophysical Research* 88: 9671-9688.
- Taylor, S.R; Maclennam, S. M. 1995. The Continental Crust. In *Composition and evolution* Blackwell Scientific Publishers, Oxford. *Rev. Geophysics* 33: 241-265.
- Terezo, E. F; Góes Filho, L; Ferreira, A; Veloso, H. P; Fonseca, W. N; Silva, S. B. 1975. Vegetação da Folha SB- 21 – Tapajós. In: Brasil, DNPM. Projeto RADAMBRASIL . Cap IV – Vegetação. Rio de Janeiro.
- Tosiani, T; Loubert, 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

- disolved load and element redistribution between the suspended an disolved load.  
Chemical Geology 211: 305-334.
- Varella, D. 2004. Rio Negro. Editora Vozes. Boletim técnico de uma viagem ao longo do rio. : 3-7.
- Walker, I. 1987. The Biology of streams as part f Amazonian forest ecology. *Experientiae* 73: 279-287.

## **ANEXOS**



### MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS DE APUÍ-AM: entre 1998 e 2007

Médias (mm)	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	MÉDIA
<b>jan</b>	279,9	234,6	334,3	551,1	127,2	325,4	117,3	376	180,8	119,5	264,61
<b>fev</b>	331,3	82	256,4	151,8	433,5	310,5	439,2	324,1	290,3	361,1	298,02
<b>mar</b>	304,3	304,1	396,5	152,2	321,8	283,5	348,8	371,3	315,8	209,8	300,81
<b>abr</b>	269,6	229,7	255,8	245	237,4	276,6	303,5	535	379,6	172,3	290,45
<b>mai</b>	136,8	155,3	54,2	318,2	194,8	204,6	196,1	48,8	156,9	89,6	155,53
<b>jun</b>	14,5	48,6	50	32,6	230,1	31,4	54,4	42,9	2,9	5,5	51,29
<b>jul</b>	0	29,4	58,5	81,2	125,4	0	60,7	19,4	2	5,2	38,18
<b>agos</b>	108,2	5,9	77,1	84,9	62,5	197,2	14	105,2	2,5	66,1	72,36
<b>set</b>	52	135,1	121,8	376,2	194	215,3	85,9	92	171,1	184,8	162,82
<b>out</b>	260	231,9	253,6	339,6	169,2	241,5	180,5	164,8	191,9	250,3	228,33
<b>nov</b>	232,9	272	298,9	231,9	220,6	110,9	270,3	211,9	150,8	195,6	219,58
<b>dez</b>	271	423,3	381,5	145	175,1	106,1	280,6	202,8	162,1	393,9	254,14

Resultados do mês de abril de 2009. Condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$

	pH	CE	Turb	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Saldo*
Aripuanã	4,93	14,6	8,08	934,0	1625,65	1014,0	611,0	4430,0	143,0	320	662,0	111,0	150,1
Jatuarana	4,55	11,7	3,62	34,0	315,80	50,0	42,0	2950,0	115,0	80	486,0	126,0	8,0
Ig 1	3,82	70,8	2,1	80,0	557,80	53,0	4,0	2150,0	194,0	...	449,0	27,0	110,6
Ig 2	3,86	19,1	2,75	60,0	380,00	92,0	23,0	1950,0	137,0	...	456,0	51,0	161,0
Juma	4,19	12,7	7,22	102,0	907,90	356,0	142,0	2550,0	223,0	...	1309,0	135,0	0,6
Acari	4,9	22,2	5,65	670,0	3305,70	497,0	367,0	4050,0	179,0	160	522,0	126,0	7,5
Camaiú	3,96	19,4	5,47	171,0	7685,00	93,0	190,0	1860,0	177,0	...	1953,0	144,0	6,5
Sucunduri	4,36	17,6	9,66	557,0	1362,70	629,0	472,0	2490,0	187,0	...	696,0	114,0	27,0
Nascente	3,9	29,7	0	62,0	405,00	155,0	27,0	1410,0	186,0	...	4563,0	125,0	-58,34

\* Somatório de cátions – somatório de ânions

Resultados do mês de maio de 2009. Condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$

	pH	CE	Turb	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Saldo
Aripuanã	4,88	18	8,24	942,0	1019,0	889,65	591,40	5640,0	147,0	200	5426,0	79,0	63,6
Jatuarana	4,28	11,2	3,3	40,0	488,0	2949,5	354,30	5260,0	95,0		485,0	112,0	45,3
Ig 1	3,2	28	4,1	46,0	573,0	57,8	150,00	5220,0	189,0		1209,0	53,0	06,0
Ig 2	3,7	8,3	3,04	409,0	409,0	47,7	157,30	4910,0	131,0		1708,0	53,0	11,3
Juma	4,2	9,2	20	72,0	878,0	426,15	312,70	5580,0	194,0		107,4	440,0	316,63
Acari	4,76	19,3	9,3	686,0	980,0	521,8	400,10	5250,0	68,0	160	329,0	19,0	103,7
Camaiú	4,36	8,2	2,61	115,0	315,0	69,75	112,30	2350,0	485,0	40	140,0	19,0	8,8
Sucunduri	4,26	12,4	4,36	159,0	792,0	249,25	374,10	3670,0	42,0		325,0	36,0	63,3

Resultados do mês de junho de 2009. Condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$

	pH	CE	Turb	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Saldo
Aripuanã	5,9	14,8	2,7	1144,4	1120,0	938,3	580,0	7090,0	132,1	120,0	169,5	140,2	162
Jatuarana	5,0	10,2	3,6	32,6	397,0	443,9	384,8	4215,0	228,8	60,0	258,7	231,3	49
Ig 1	4,6	11,1	1,0	73,7	383,0	39,3	99,6	2875,0	86,7	20,0	45,9	100,6	18
Ig 2	4,6	12,0	2,4	16,6	415,0	14,1	109,9	3280,0	238,7	8,0	278,2	128,5	7,0
Juma	4,9	14,6	7,7	171,9	973,0	277,8	311,1	4240,0	140,7	140,0	296,5	174,1	57
Acari	5,7	15,2	6,7	1193,4	1366,0	529,9	416,5	8105,0	267,0	200,0	381,7	159,7	127
Camaiú	4,6	9,0	2,6	1736,9	1260,0	224,2	111,3	3070,0	115,0	20,0	387,0	134,4	116
Sucunduri	5,7	12,3	2,6	120,3	923,0	479,6	494,7	3955,0	189,0	200,0	147,3	144,7	80
Nascente	3,9	19,1	1,0	12,8	433,0	16,5	92,7	1700,0	191,4	...	4288,3	76,1	-56

Resultados do mês de julho de 2009. Condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$

	pH	CE	Turb	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Saldo
Aripuanã	5,7	28,6	2,1	1164,4	1346,3	1323,3	649,8	6160,0	207,7	160,0	503,7	44,9	187
Jatuarana	4,9	24,4	2,3	207,9	1174,0	1227,5	752,0	4280,0	295,7	120,0	492,3	93,3	142
Ig 1	4,3	17,6	2,1	473,7	783,0	274,0	157,2	2720,0	231,0	40,0	102,0	132,0	56
Ig 2	4,5	19,2	2,1	453,0	1023,9	177,0	158,0	3430,0	396,3	40,0	262,8	94,8	50
Juma	4,7	22,2	7,3	684,0	1637,2	673,1	455,9	4540,0	546,5	80,0	1009,9	6,5	110
Acari	5,4	29,8	5,6	20,9	1751,0	1009,3	545,2	7590,0	139,4	200,0	1926,8	16,6	102
Camaiú	4,9	16,3	2,8	220,1	856,2	252,8	143,6	3650,0	187,7	80,0	346,5	40,7	43
Sucunduri	5,2	28,6	1,6	255,0	1392,1	1187,1	839,5	3360,0	171,5	120,0	289,9	15,6	163
Nascente	3,8	37,8	2,0	111,0	614,9	68,7	107,7	1930,0	44,1		4725,3	59,3	-46

Resultados do mês de agosto de 2009. Condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$

	pH	CE	Turb	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Saldo
Aripuanã	6,8	20,1	6,5	1585,4	1607,9	1245,4	701,8	7520,0	540,4	200,0	317,4	254,4	201
Jatuarana	6,6	21,8	3,4	189,5	1550,3	1670,2	1256,6	5500,0	35,4	190,0	231,3	155,6	224
Ig 1	5,7	11,7	3,1	368,5	1231,8	238,1	189,9	4710,0	185,4	160,0	72,6	337,2	59
Ig 2	5,5	9,1	4,7	230,4	1072,9	13,0	195,0	4630,0	83,2	160,0	91,2	365,8	42
Juma	6,6	15,3	16,9	378,8	1686,1	975,9	691,4	7100,0	70,0	190,0	187,2	114,9	155
Acari	6,8	19,7	6,0	1236,1	2189,5	908,1	663,0	12190,0	25,4	200,0	249,2	205,6	198
Camaiú	5,9	9,1	4,2	482,8	1361,4	108,8	191,3	5410,0	141,6	100,0	56,4	257,5	65
Sucunduri	6,9	20,3	2,6	339,4	1719,0	1718,0	1453,5	6560,0	18,6	260,0	352,6	199,9	250
Nascente	4,8	39,3	1,3	3623,6	1319,6	202,2	399,8	4370,0	1013,0	140,0	8324,8	639,8	56

Resultados do mês de setembro de 2009. Condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$

	pH	CE	Turb	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Saldo
Aripuanã	7,2	26,7	2,1	951,8	1707,6	1410,8	762,9	2230,0	612,3	180,0	1254,4	236,4	173
Jatuarana	6,5	26,5	4,9	326,8	1804,8	1550,6	1061,7	3580,0	934,8	164,0	1008,4	67,9	179
Ig 1	5,4	23,2	2,6	306,7	1009,1	123,2	211,6	1670,0	661,0	136,0	140,3	279,9	34
Ig 2	5,3	18,0	2,6	444,9	1429,9	192,7	247,2	2940,0	1040,4	132,0	240,8	186,5	47
Juma	6,5	19,7	14,8	314,5	1995,5	864,5	663,3	3990,0	609,9	164,0	656,6	115,7	130
Acari	6,6	33,5	8,3	1151,0	24,1	1075,5	659,4	6580,0	831,7	168,0	1270,0	127,2	110
Camaiú	6,0	22,6	3,1	330,1	1784,1	163,4	224,9	2890,0	883,1	152,0	1050,5	32,2	42
Sucunduri	7,1	32,8	2,3	273,0	1665,0	1882,1	1526,9	3920,0	492,7	180,0	1326,9	285,6	230
Nascente	4,7	64,6	0,0	200,6	633,9	530,8	87,3	1480,0	577,9	120,0	2187,3	1417,2	-24

Resultados do mês de outubro de 2009. Condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$

	pH	CE	Turb	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Saldo
Aripuanã	6,0	16,2	2,6	1141,3	1706,4	1325,1	611,5	6010,0	379,6	210,0	145,3	168,1	190
Jatuarana	5,6	16,4	5,1	218,0	1519,8	1718,0	1151,7	3310,0	350,4	190,0	762,7	322,2	197
Ig 1	4,9	11,2	5,4	245,9	2002,1	202,7	171,9	2100,0	505,2	170,0	761,0	110,3	55
Ig 2	4,7	9,8	5,2	516,4	1269,5	215,0	176,5	3160,0	605,7	160,0	586,6	221,6	47
Juma	4,8	12,3	20,7	265,6	1864,7	916,8	520,7	3260,0	522,2	160,0	403,1	223,3	120
Acari	6,5	22,9	10,3	1257,5	2420,5	851,5	498,0	6300,0	504,1	230,0	525,5	358,0	166
Camaiú	5,1	31,6	2,7	276,0	1681,3	90,3	206,8	3240,0	352,8	180,0	372,1	163,0	54
Sucunduri	6,2	24,1	2,9	288,5	1805,2	2135,7	1667,0	3100,0	328,2	220,0	82,8	122,4	286
Nascente	3,8	24,0	0,0	168,1	713,7	110,4	94,6	2040,0	321,0	0,0	4107,0	314,1	-43

Resultados do mês de novembro de 2009. Condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$

	pH	CE	Turb	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Saldo
Aripuanã	5,3	19,2	5,5	1780,7	2315,0	1678,5	305,9	4930,0	589,9	230,0	200,0	292,3	252
Jatuarana	4,9	15,4	4,0	203,8	1268,8	1618,5	221,1	2800,0	348,4	210,0	267,1	480,1	176
Ig 1	4,1	8,5	1,8	221,8	455,5	91,2	167,1	2620,0	211,0	...	123,5	19,6	29
Ig 2	3,8	10,8	3,2	245,8	639,2	147,7	113,0	2510,0	281,5	...	45,1	118,0	38
Juma	4,2	11,1	16,2	336,4	1791,4	826,3	119,9	2780,0	454,3	....	166,2	181,4	124
Acari	4,7	21,5	11,8	1362,0	2162,9	979,1	188,3	5520,0	354,9	200,0	263,1	301,3	183
Camaiú	4,4	12,0	2,7	354,0	1929,3	148,9	118,1	2770,0	447,3	190,0	132,3	210,1	68
Sucunduri	5,1	22,7	2,2	266,6	1791,5	2161,8	310,2	4200,0	276,0	220,0	34,6	143,9	281
Nascente	3,3	15,8	0,0	40,0	511,6	301,6	98,8	1670,0	2649,3	....	14893,0	25,1	-283

Resultados do mês de dezembro de 2009. Condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$

	pH	CE	Turb	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Saldo
Aripuanã	4,7	26,6	9,7	826,10	997,50	271,00	305,90	4810	277,70	200,00	607,90	211,10	74,9
Jatuarana	4,2	18,4	3,9	56,60	372,30	238,60	211,10	1880	306,50	...	198,70	187,10	26,5
Ig 1	4	16,8	2,51	43,80	453,70	372,50	167,10	2060	256,30	...	44,50	130,60	35,3
Ig 2	3,7	16,6	2,86	36,50	298,40	563,30	113,00	2200	239,90	...	57,70	103,90	36,9
Juma	4,2	10,3	6,5	71,70	387,50	411,10	119,90	2140	341,10	...	809,90	165,60	17,4
Acari	4,7	38,9	11,9	665,30	961,20	83,30	188,30	4680	268,60	200,00	261,00	323,60	51,5
Camaiú	4,6	31,7	8,09	149,50	474,10	455,10	118,10	2120	363,10	195,00	341,30	282,60	26,4
Sucunduri	3,8	19,4	9,18	182,30	794,70	108,50	310,20	3480	326,60	...	476,10	229,40	37,6
Nascente	3,5	29,8	0	44,30	521,90	600,80	98,80	1400	261,90	....	3668,50	157,00	-16,3

Resultados do mês de janeiro de 2010. Condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez em UNT e íons em  $\mu\text{g}/\text{L}$

	pH	CE	Turb	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Saldo
Jatuarana	4,3	14,8	2,6	140,4	334,4	696,4	135,2	3640,0	289,9	...	330,0	292,1	41
Ig 1	3,9	14,6	1,7	116,8	302,8	501,9	324,5	3180,0	185,3	...	987,7	120,5	41
Ig 2	3,9	14,8	1,4	2197,6	2001,3	804,4	86,2	2760,0	246,2	...	8682,8	298,8	40
Juma	4,0	8,3	4,3	2359,4	2362,5	1156,5	361,6	3680,0	171,2	...	1925,1	193,3	211
Acari	4,7	22,0	8,4	2260,1	2427,0	1450,6	427,2	6100,0	232,6	200,0	872,6	110,6	242
Camaiú	4,6	10,8	4,2	138,0	290,5	244,0	352,6	4940,0	232,7	195,0	8335,6	236,3	-94
Sucunduri	3,9	16,7	6,8	90,9	678,3	578,4	169,7	4310,0	173,8	...	5234,9	331,2	-32
Nascente	3,8	16,4	0,0	4348,0	2067,2	1857,4	278,8	1970,0	453,0	...	5374,4	335,0	251