



**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS
NA ORDENAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS
NO ALTO RIO MADEIRA E AFLUENTES, AMAZÔNIA OCIDENTAL**

J.V.E. Bernardi^{1,3*}; L.D. Lacerda²; J.G. Dórea^{3**}; P.M.B. Landim^{4***}; J.P.O. Gomes¹;
R. Almeida¹; A.G. Manzatto³; W.R. Bastos¹

¹ Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Rodovia BR 364, km 9,5 Sentido Acre, CEP: 78.900-500, Porto Velho, RO, Brasil

² Laboratório de Biogeoquímica Costeira, Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, Universidade Federal do Ceará – UFC, Av. Abolição, 3207, CEP: 60.165-081, Meireles, Fortaleza, CE, Brasil

³ Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, Brasil

⁴ Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista/campus de Rio Claro, SP, Brasil

E-mail: *bernardi@unir.br; **dorea@rudah.com.br; ***plandim@rc.unesp.br

Recebido em 03/07, aceito para publicação em 07/08

ABSTRACT

We used principal components analysis (PCA) to evaluate the physicochemical parameters of the Upper Madeira River and its tributaries in the state of Rondônia, Brazil. The physicochemical parameters indicated that the Madeira River drainage basin comprises three groups of waters regarding pH (slightly alkaline to slightly acid), conductivity (high to low), and dissolved oxygen and suspended solids. The PCA of the physicochemical parameters demonstrated the influence of pH, conductivity and dissolved solids in the total variability: the PCA scores revealed differences resulting from the seasonal influences of high and low waters (rain and dry seasons). The flow and physicochemical parameters could be discriminated according to seasons, which are affected by marginal soils, land use (agriculture and cattle ranging), flooded wetlands, and by the specific tributaries' physicochemical-characteristics.

RESUMO

Foi utilizada a análise por componentes principais (ACP) para avaliar os principais parâmetros físico-químicos do Alto Rio Madeira e seus tributários, Estado de Rondônia, Brasil. Os principais parâmetros físico-químicos indicam que a Bacia do Alto Rio Madeira engloba três diferentes grupos de águas em relação ao pH (levemente alcalino a levemente ácido), condutividade (alta e baixa), concentração de oxigênio dissolvido e o teor de sólidos em suspensão. A ACP destes parâmetros demonstrou a influência do pH, condutividade e sólidos em suspensão na variabilidade total da hidroquímica. Os escores da ACP revelaram diferenças resultantes da influência sazonal (estação seca e chuvosa). O fluxo e os parâmetros físico-químicos podem

ser discriminados de acordo com a estação do ano, que por sua vez são afetados pelo tipo de solos marginais, o uso do solo (agricultura e pecuária), áreas alagadas e pelas características específicas dos tributários.

INTRODUÇÃO

Os rios são sistemas complexos visualizados como escoadouros naturais das áreas de drenagens adjacentes, que em princípio formam as bacias hidrográficas. Suas características físico-químicas, biológicas e hidrológicas em qualquer ponto refletem muitas influências, incluindo o clima, geologia, geomorfologia e cobertura vegetal da região. Pode-se considerar que sob equilíbrio dinâmico, esses fatores condicionam as normas e características ambientais naturais do sistema. Além das características dos ecossistemas terrestres adjacentes e do seu grau de alteração, a composição química da água depende das atividades humanas exercidas em diferentes segmentos do sistema (construção de represas, efluentes industriais e domésticos, drenagem de áreas alagáveis, etc.), que por sua vez influenciam suas características físico-químicas e qualidade da mesma.

O Rio Madeira principal afluente da bacia do Rio Amazonas, constitui aqui, o foco deste estudo, cujo aspecto dinâmico o caracteriza por intensos gradientes que podem ser de natureza hidrológica (oscilação do regime fluvial), tectônica/geomorfológica (alteração do canal fluvial), hidráulica (poder energético da massa de água) e de transporte de sedimentos.

A bacia de drenagem do Rio Madeira, devido a sua importância quanto à vazão e fluxo de sólidos carregados para o Rio Amazonas, tem sido avaliada por vários autores (Sioli, 1967; Mortatti *et al.*, 1989; Martinelli *et al.*, 1989; Martinelli *et al.*, 1993; Guyot *et al.*, 1995; Gaillardet *et al.*, 1997; Guyot *et al.*, 1999; Filizola-Júnior, 1999; Aalto *et al.*, 2003; 2006; Tardy *et al.*, 2005; Latrubesse *et al.*, 2005; Dosseto *et al.* 2006). Em síntese estes autores encontraram em seus estudos, cargas de sólidos em suspensão transportados na ordem de milhões a bilhões de toneladas por ano. Torna-se evidente a importância do carregamento dos sólidos na composição físico-química deste corpo de água.

A composição mineralógica dos sólidos em suspensão foi estudada por Martinelli *et al.* (1993) em ambientes de várzea, Lyons & Bird (1995) nos sedimentos em suspensão e precipitados e por Guyot *et al.* (2007) em sedimentos transportados pelo Rio Beni. Estes estudos relatam que a maior parte destes sedimentos transportados é constituída de argilominerais dos grupos das illitas, caulinitas, cloritas e esmectitas, na sua predominância. Portanto, a constituição geológica destes sólidos em suspensão tem, portanto, grande importância na composição da água dos rios e lagos que drenam íons metálicos e pequenas partículas dos solos, contribuindo assim para a composição físico-química da água regional (Mortatti & Probst, 1998). Deste modo, a dinâmica sazonal de cheia e seca e o respectivo transporte dos sólidos tornam-se um fator chave para se entender o funcionamento físico-químico das águas da região do Alto Rio Madeira.

Os estudos até então realizados sobre a carga de sólidos em suspensão no Rio Madeira e a sua relação com os parâmetros físico-químicos, têm sido sem um enfoque de conjunto. Em estudos onde as suposições inferem sobre a linearidade dos dados,

as expectativas de correlações devem ser significativas e com alto grau de determinação. Entretanto observam-se correlações baixas, em muitos casos até significativas, porém com baixos graus de determinação, não indicando assim a relação de causa e efeito. Neste caso a análise estatística multivariada é a ferramenta mais adequada para responder a questões de variabilidade, redução e importância das variáveis.

Em estudos ambientais com muitas amostras e variáveis, sejam elas físico-químicas, biológicas e/ou temporais, que devem ser levadas em consideração, uma das formas de avaliar integralmente um complexo de dados é a metodologia estatística multivariada, onde as variáveis podem ser analisadas em conjunto. Para evitar conclusões indesejáveis, o pesquisador deve ter, porém, um bom conhecimento a respeito das variáveis em questão, pois a análise multivariada é apenas uma forma exploratória de classificação e ordenação, em suma um instrumento e não um modal epistêmico em si.

A análise das componentes principais (ACP) é um método da estatística multivariada que permite interpretar a estrutura de um conjunto de dados multivariados a partir das respectivas matrizes de variâncias-covariâncias ou de correlações entre os parâmetros considerados. Consiste numa transformação linear de todas as variáveis originais em novas variáveis, de tal modo que a primeira nova variável computada seja responsável pela maior parte da variação possível existente no conjunto de dados, a segunda pela maior variação possível restante, e assim por diante até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada (Gomes, 1985; Ludwig & Reynolds, 1988; Landim, 2000; Odden & Kvalheim, 2000). Na análise estatística tradicional de variáveis independentes, há uma exigência de que o número de objetos (amostras) deva ser significativamente maior que o número de variáveis. Porém, este princípio não se aplica à ACP, que é um método para dados de análise fixa com variáveis fortemente correlacionadas (Wold *et al.*, 1987; Kvalheim, 1988). Wang & Du (2000), avaliaram a ACP como um método robusto, capaz de lidar com dados não normais, com alto desempenho. Uma das vantagens principais da modelagem dos dados em termos da ACP é a facilidade de visualização das principais componentes em mais de duas dimensões.

Desse modo o objetivo deste trabalho é estudar a variabilidade das condições físico-químicas, sua ordenação durante o período hidrológico de cheia e seca, no Alto Rio Madeira e afluentes, e para a sua interpretação, fazer-se uso da ACP.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O Rio Madeira desde suas nascentes nos Andes Bolivianos tem uma extensão total de 3.400 km, sendo 1.500 km em território brasileiro. Seu eixo hidrográfico está alinhado na direção NO, inflectindo bruscamente para NE ao receber as águas do Rio Abunã, seguindo esta direção até a sua foz no Rio Amazonas, estando condicionado às orientações tectônicas. A bacia hidrográfica do Rio Madeira apresenta afluentes expressivos apenas na margem direita, fato que define a assimetria de sua bacia. Em território Rondoniense, os afluentes principais pela margem direita são os rios Ribeirão, Castanho, Mutum-Paraná, Jaci-Paraná, São Francisco, Caracol, Candeias, Jamari e

Ji-Paraná, além dos igarapés das Araras, Mururé e Cirilo. Dentre os afluentes pela margem esquerda destaca-se apenas o Rio Abunã. Os outros são curtos e pouco significativos (rios Ferreiros, São Lourenço e Aponiã, bem como os igarapés São Simão, Maparaná e Cuniã). A bacia hidrográfica do Rio Madeira tem uma área total de aproximadamente 1,52 milhões de km², cerca de 24% da bacia Amazônica, sendo o dobro do tamanho de qualquer outra bacia tributária do Rio Amazonas e abrange parcialmente os territórios da Bolívia (40%), Brasil (50%) e do Peru (10%) (ANEEL, 2000).

A captação de água da bacia do Rio Madeira pode ser considerada atípica em relação às demais bacias hidrográficas da Amazônia. Seus afluentes são de pequena importância quanto à descarga hídrica, estando o regime de cheia e vazante relacionado com o clima da região Andina do Leste da Bolívia. O seu regime hidrológico é caracterizado por um período de águas baixas, de julho a outubro, e um período de águas altas, de fevereiro a maio. As vazões mínimas do ano ocorrem com maior frequência em setembro, enquanto que as máximas verificam-se nos meses de março e abril.

Plano amostral

A elaboração do plano amostral para a área foi baseado em uma amostragem sistemática, com a marcação de pontos de coleta em imagens LANDSAT-TM 7, formando uma malha experimental composta por 23 transectos de amostragem, sendo 11 transectos no período de estiagem e 12 transectos no período de cheia, distribuídos de modo regular, com intervalos ao longo da coordenada "X", paralela ao leito do rio de 25 km e, ao longo da coordenada "Y", transversal a área amostrada, tendo sido feitas coletas na margem esquerda e direita e num ponto central no canal principal do rio. A equidistância entre os dois períodos sobrepostos foi de 12,5 km. A partir desta malha experimental, as coordenadas geográficas dos pontos de coleta foram aferidas em campo, com auxílio de GPS, modelo GARMIN® III Plus (Figura 1). As coletas foram realizadas em novembro de 2003 (seca) e fevereiro de 2004 (cheia). As amostras foram coletadas à aproximadamente transectos 25 cm abaixo da superfície da lamina d'água, obtendo-se de forma geral partículas <63 µm (250 mesh).

As variáveis hidroquímicas estudadas foram: oxigênio dissolvido, % de saturação oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, temperatura (água e ar) e demanda química de oxigênio para o ambiente lótico. Os parâmetros físico-químicos foram medidos *in loco* nos pontos com os seguintes equipamentos: pH: SCHOTT – pH/mV Meter-handylab; condutividade elétrica: SCHOTT – Hand-Held Conductivity Meter-handylab LF1; oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio e temperatura: SCHOTT – Dissolved Oxygen Meter-handylab OX1.

Análise das componentes principais (ACP)

A análise das componentes principais é uma técnica de transformação de variáveis onde cada variável medida pode ser considerada como um eixo de variabilidade estando usualmente correlacionada com outras variáveis. Esta análise transforma os dados de forma a descrever a mesma variabilidade total existente, com o mesmo número de eixos originais, porém não mais correlacionados entre si. Graficamente pode ser descrita como a rotação de pontos existentes num espaço multidimensional originando eixos, ou componentes principais, que dispostos num

espaço a duas dimensões representem variabilidade suficiente para indicar um padrão a ser interpretado (Bernardi *et al.*, 2001).

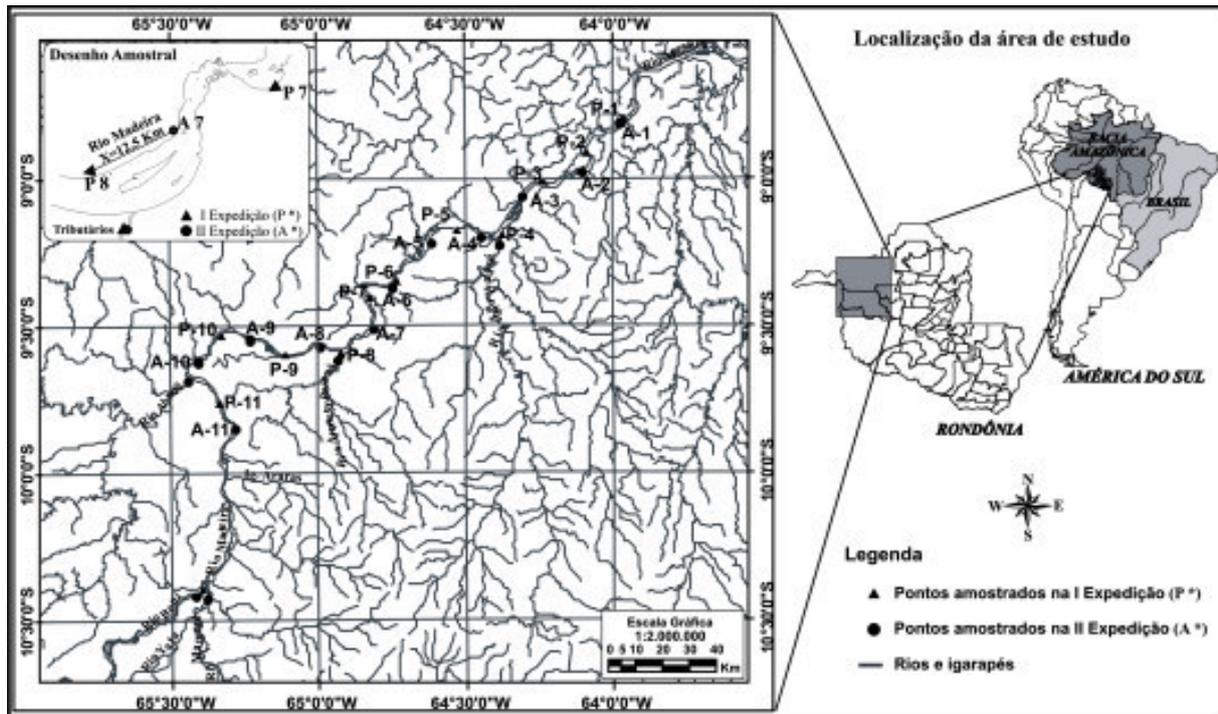


Figura 1: Mapa da área de estudo evidenciando os transectos amostrais realizados na calha do Rio Madeira (Fonte: Gomes *et al.*, 2006).

A ACP inicia-se com o cálculo dos autovalores e seus correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias-covariâncias ou de uma matriz de correlações entre variáveis. Neste estudo foi utilizada a matriz de correlações, sendo tal procedimento conhecido como modo “R”. O primeiro autovalor a ser determinado corresponderá à maior porcentagem da variabilidade total presente e assim sucessivamente. Os autovetores correspondem às componentes principais sendo o resultado do carregamento das variáveis originais em cada um deles. Tais carregamentos podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada variável em relação às componentes principais e os respectivos sinais, se positivos ou negativos, indicam relações direta e inversamente proporcionais.

A matriz de carregamentos de cada variável nas componentes principais ao ser multiplicada pela matriz original de dados fornecerá a matriz de contagens (escores) de cada caso em relação às componentes principais. Esses valores poderão ser dispostos num diagrama de dispersão, onde os eixos são as duas componentes mais importantes e assim mostrar o relacionamento entre os casos condicionados pelas variáveis medidas (Bernardi *et al.*, 2001).

RESULTADOS

Comportamento hidrológico do Rio Madeira

A variação mensal do nível de água do Rio Madeira medida em Porto Velho para o período de estudo (janeiro de 2003 a dezembro de 2004) está ilustrada na figura 2. No período hidrológico de dois anos o nível da água em Porto Velho oscilou

12,61 m entre o período mais seco e o período de cheia máxima em 2003 e 12,32 m em 2004. A magnitude da dinâmica hídrica do Rio Madeira é devida ao seu grande volume de água. Durante o ano de 2005, sua vazão foi bastante significativa, oscilando entre o máximo de $33.441 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e o mínimo de $2.533 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Figura 3); uma variação no volume de água de aproximadamente 16 vezes. O pico máximo da vazão ocorreu em fevereiro, correspondente ao período de cheia na bacia do Rio Madeira, e o mínimo em outubro, correspondente ao período de seca.

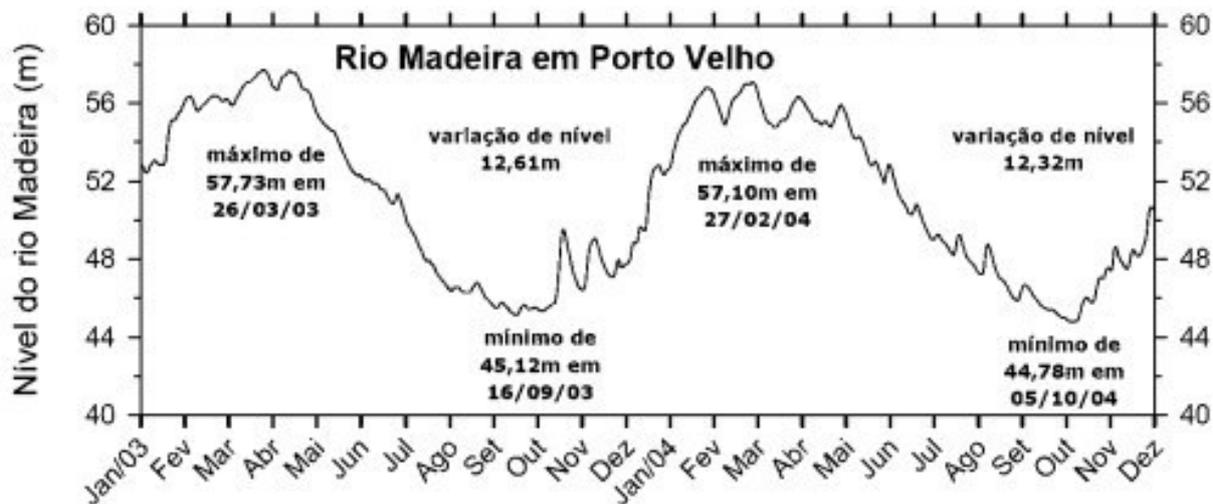


Figura 2: . Nível em metros do Rio Madeira durante o período de 2003 a 2004 para a localidade de Porto Velho-RO.



Figura 3: Vazão em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do Rio Madeira no período de 2003 a 2004 para a localidade de Porto Velho (Fonte: FURNAS, 2005).

Os resultados dos parâmetros físico-químicos estão sumarizados na tabela 1; o Rio Madeira é representado pela média do período hidrológico de cheia e seca e para seus afluentes, estes valores estão representados por apenas uma amostra em cada período. A tabela 2 e figuras 4 e 5 ilustram os resultados da PCA aplicados às variáveis estudadas: oxigênio dissolvido, saturação oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, temperatura (água e ar) e sólidos em suspensão.

Para realizar a Análise das Componentes Principais foi utilizado o software Statistica versão 7 (Statsoft, 2004), módulo análise das componentes principais,

o qual permite determinar por conhecimento prévio a classificação das variáveis entre “ativas” e “suplementares”. Neste caso foi rodado inicialmente a ACP com todas as variáveis julgando-as como ativas. Após a interpretação das cargas das variáveis estabeleceu-se determinar como suplementares as variáveis com cargas inferiores a 0,7. A variável saturação do oxigênio dissolvido (%SOD), devido sua co-linearidade com o oxigênio dissolvido (O.D.), com correlação da ordem de 0,985 foi considerada como suplementar. As variáveis temperatura da água e do ar, que apresentaram uma variação global pequena e carga inferior a 0,7, também foram consideradas como suplementares. Desse modo apenas as variáveis condutividade, pH e sólidos em suspensão, foram consideradas como variáveis ativas, baseadas nas quais os autovalores e autovetores foram calculados.

Tabela 1: Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas do Rio Madeira para os períodos hidrológicos de seca e cheia.

Parâmetros	SS	Temp.Ar	Temp.Água	Cond	pH	OD	%SOD	n
Rio Madeira/1	524 ± 129	28,4 ± 1,8	28,0 ± 1,0	71,8 ± 2,4	6,5 ± 0,1	5,1 ± 0,6	66 ± 8	36
Rio Madeira/2	331 ± 62	31,2 ± 2,9	29,5 ± 0,6	95,7 ± 1,9	7,2 ± 0,3	7,0 ± 0,3	96 ± 2	33
Rio Beni/1	552	25,7	27,5	85,3	6,4	5,1	65	1
Rio Beni/2	300	30,5	29,3	83,4	7,5	6,7	91	1
Rio Mamoré/1	368	24,6	28,4	69,1	5,9	3,5	46	1
Rio Mamoré/2	28	30,6	30,5	184,4	7,5	6,3	89	1
Rio Jaci-Paraná/1	10	24,9	25,9	14,4	5,9	4,0	49	1
Rio Jaci-Paraná/2	8	31	30,2	22,8	6,8	7,0	99	1
Rio Abunã/1	30	25,2	26	10,9	5,1	4,0	50	1
Rio Abunã /2	12	31	29,7	19	4,8	7,5	97	1
Rio Mutum-Paraná/1	416	26,4	28,4	10,8	6,8	6,5	79	1
Rio Mutum-Paraná/2	8	29,3	25,8	8,4	5,6	4,6	57	1
Igarapé Araras/1	30	28,1	26,5	7,1	5,2	3,6	45	1
Igarapé Araras/2	8	28,4	26,5	7	5,0	3,7	47	1
Igarapé Caripunas/1	10	29,95	23,85	100,3	5,2	5,5	64	1
Igarapé Jatuarana/1	10	27,2	27,6	58,6	6,2	3,7	46	1
Igarapé Milagres/1	13	27,65	27,6	100,3	6,2	-	11	1
Igarapé Belmont/1	310	27,46	27,7	37,6	6,3	4,4	56	1
Igarapé Jirau/1	10	34	23,6	12,9	5,7	5,0	57	1

Obs: (/1) corresponde ao período de Cheia; (/2) corresponde ao período de Seca; (SS) Sólidos em suspensão (mg.L⁻¹); (Temp.Ar) temperatura do Ar (°C); (Temp.Água) Temperatura da água (°C); (Cond) Condutividade (µS.cm⁻¹); (pH) Potencial hidrogeniônico; (OD) Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹); (%SOD) saturação do oxigênio dissolvido (%); (n) Números de amostras; (524 ± 129) Média e Desvio padrão.

Tabela 2: Cargas das componentes principais indicando as percentagens de explicação da variabilidade das variáveis físico-químicas para o período de seca e cheia.

Cargas das Componentes Principais		
	Componente 1 (Fator 1)	Componente 2 (Fator 2)
Sólidos Dissolvidos	0,395525	-0,872341
Condutividade	0,920830	-0,091513
pH	0,933947	0,031436
Oxigênio Dissolvido	0,715736	0,558782
*Temperatura do Ar	0,298534	0,375819
*Temperatura da Água	0,665944	0,164614
*Saturação Oxigênio Dissolvido (OD%)	0,756480	0,537420
% variabilidade explicada	60,0	27,0
% total variabilidade explicada	60,0	87,0

* Variáveis suplementares

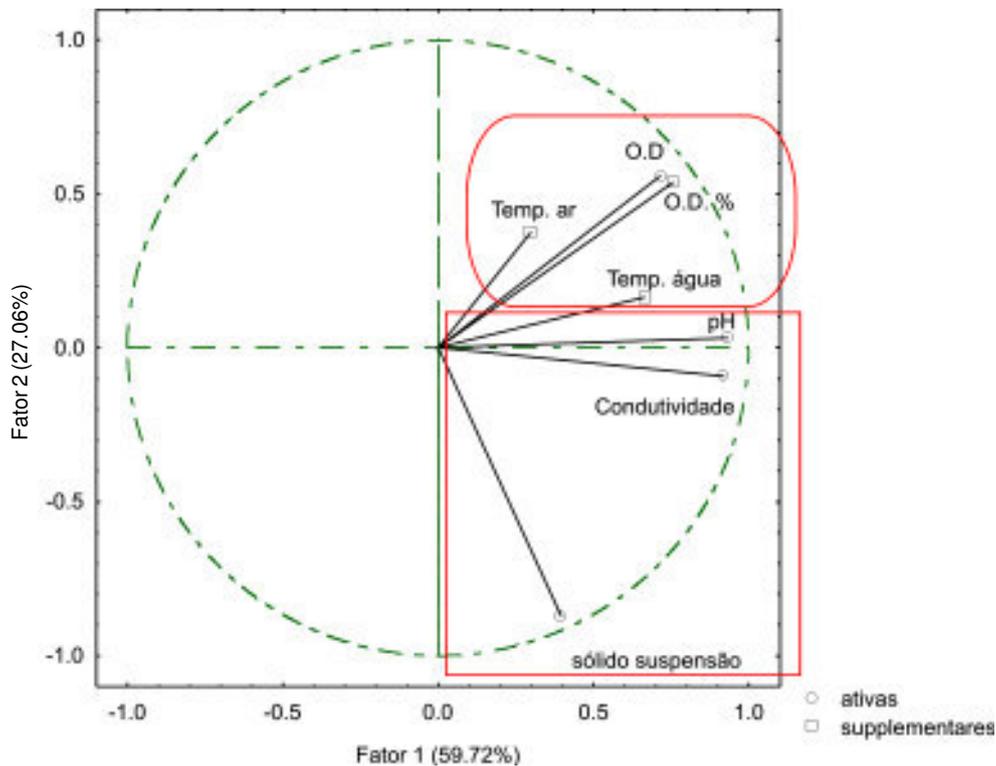


Figura 4: Projeção espacial da ordenação dos vetores das variáveis físico-químicas nas duas componentes principais para o período de seca e cheia.

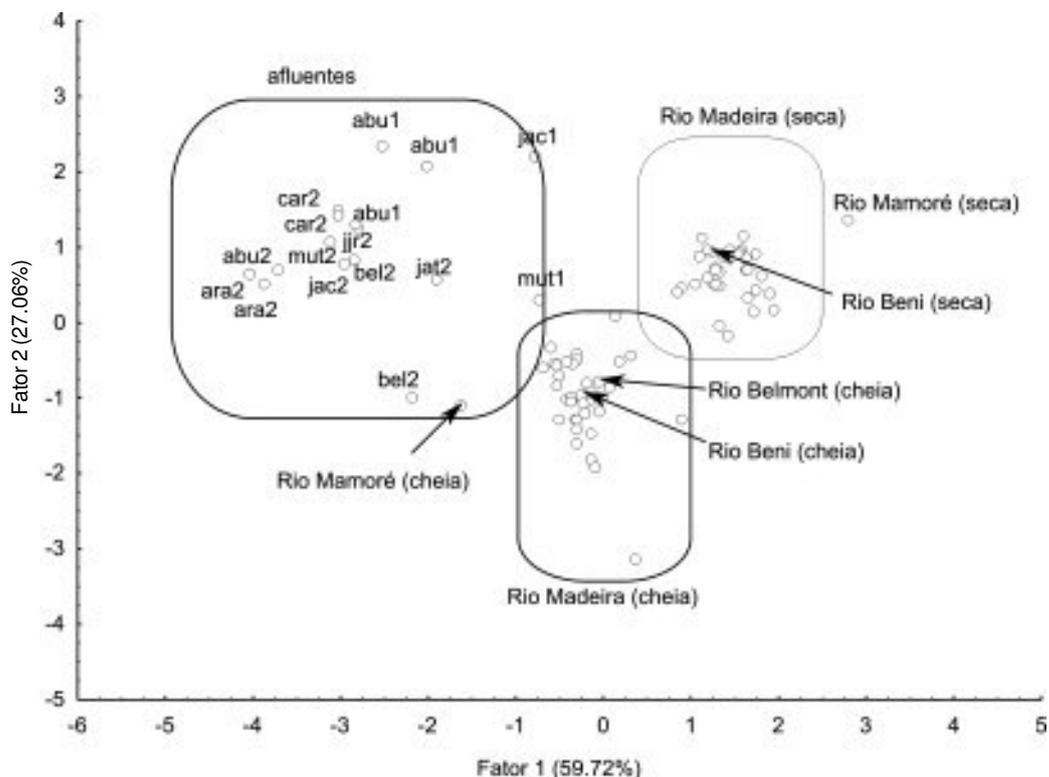


Figura 5: Projeção espacial da ordenação dos vetores das variáveis físico-químicas nas duas componentes principais para o período de seca e cheia.

A projeção polar das cargas das variáveis associadas às duas primeiras componentes mostra a ordenação dos vetores das variáveis no espaço, destacando as variáveis ativas das suplementares (Figura 4). Observa-se a formação de dois grupos ordenados no primeiro e quarto quadrante, formado pelas componentes. A projeção

dos escores das duas componentes principais mostra a ordenação dos pontos de amostragens, indicando nitidamente a formação de três grupos ordenados, sendo dois grupos para o Rio Madeira indicando diferença entre os períodos hidrológicos de cheia e seca e o terceiro grupo indicando os afluentes nos dois períodos (Figura 5). O Rio Beni ficou ordenado junto com os pontos do Rio Madeira nos dois períodos. O Rio Mamoré se manteve isolado dos três grupos formados pelo Rio Madeira e seus afluentes, nos dois períodos.

DISCUSSÃO

Devido à complexidade dos ecossistemas amazônicos, no qual esta inserida a bacia do Rio Madeira, tornam-se necessárias técnicas que possibilitem uma análise conjunta das informações ecológicas e suas interações, durante os períodos de cheia e seca. Neste sentido, a ACP torna-se uma ferramenta estatística muito interessante que se mostrou adequada para estudar a composição físico-química das águas da Bacia do Rio Madeira. A ordenação das variáveis nos dois vetores principais explica 87% da variabilidade dos dados (Figura 4). Os dois grupos discriminados indicam uma ordenação no primeiro quadrante, do oxigênio dissolvido com as temperaturas da água e do ar e no quarto quadrante a ordenação refere-se à associação do pH e condutividade com os sólidos em suspensão onde as cargas das variáveis foram mais elevadas. Eldaw *et al.* (2003) e Debels *et al.* (2005) atribuem a essa técnica a capacidade de reduzir as informações contidas nas variáveis condicionantes, que neste estudo discriminaram a composição das águas da bacia entre os períodos hidrológicos. Desta forma a informação fica reduzida a três variáveis condicionantes, condutividade e pH na primeira componente e sólidos em suspensão na segunda componente.

A primeira componente foi atribuída ao pH e a condutividade que tiveram as maiores variabilidades entre os períodos de cheia e seca. Esta variabilidade está associada ao carreamento e lixiviação de matéria orgânica (ácidos húmicos/fúlvicos) e dos sólidos em suspensão, que são constituídos de argilominerais em sedimentos de várzea (Martinelli *et al.*, 1993) e fluviais (Lyons & Bird, 1995; Guyot, *et al.*, 2007). A dinâmica sazonal do pH e da condutividade foi em sentido oposto: enquanto o pH decresce na cheia a condutividade aumenta, no período de seca ocorre o inverso. Estudos sobre o efeito da sazonalidade nos parâmetros físico-químicos indicam que a técnica da ACP se adequou bem a esse tipo de averiguação (Montes-Botella & Tenório, 2003; Eldaw *et al.*, 2003; Bernard *et al.*, 2004; Barreto *et al.*, 2005; 2007; Castané *et al.*, 2006; Felipe-Sotelo *et al.*, 2007). Esta estratégia estatística confere ao pH e à condutividade maior importância na ordenação sendo aqui denominada componente do “potencial de cargas”.

A segunda componente teve como variável mais importante os sólidos em suspensão, cujas concentrações variaram no período hidrológico monomodal de cheia e seca (Figuras 2 e 3), com média global de $264 \times 10^6 \text{ t.ano}^{-1}$. No período de cheia o Rio Madeira chega a transportar $552 \times 10^6 \text{ t.ano}^{-1}$ e no período de seca $57 \times 10^6 \text{ t.ano}^{-1}$, com uma diferença de dez vezes entre os períodos. Esta variação encontrada se assemelha aos estudos feitos anteriormente por (Martinelli *et al.*, 1989; Mortatti *et al.*, 1989; Guyot *et al.*, 1999; Aalto *et al.*, 2003; Latrubesse *et al.*, 2005). Tais estudos apontam uma variação na carga de sólidos transportados para o Rio Amazonas de 37 a $100 \times 10^6 \text{ t.ano}^{-1}$ para o período de seca e de 230 a $1,4 \times 10^9 \text{ t.ano}^{-1}$ no período de cheia. Estas variações são em parte explicadas pelo regime de vazões do período

hidrológico cuja dinâmica se inicia com o degelo das geleiras nos contrafortes andinos da Bolívia e Peru e pelo efeito da geomorfologia da área de estudo, que condiciona uma variação altimétrica das nascentes do Rio Beni nos Andes a formação do Rio Madeira no Brasil de 6.500 m para 120 m (Guyot *et al.*, 1999). Na área de estudo o desnível verificado foi de 50 m em 400 km. Estes fatores associados conferem ao Rio Beni gradientes gravitacionais e hidráulicos que originam variações nas velocidades da água e com isso um dinamismo no transporte de sólidos em suspensão ao longo da bacia. Lyons & Bird (1995) demonstraram que estes fatores modificam as concentrações de cátions e ânions na composição das águas, durante os períodos de cheia e seca. Devido aos fatores mencionados a segunda componente foi denominada de “geomorfológica”.

As ordenações dos escores das componentes principais, técnica também usada por Barreto *et al.* (2007) e Bernard *et al.* (2004), discriminaram três grupos bem definidos nos dois períodos hidrológicos. O grupo superior direito representa os pontos do Rio Madeira e Rio Beni no período de seca, o grupo central representa os pontos do Rio Madeira e Rio Beni no período de cheia. Isto indica que a dinâmica físico-química do Rio Madeira mantém as características do seu principal formador o Rio Beni nos dois períodos. O mesmo não ocorreu com o Rio Mamoré, com seus pontos isolados em cada período. Esta discriminação indica que o Rio Mamoré é diferente quanto sua composição, nos períodos e entre os outros rios da bacia. Dois fatores principais podem estar associados à discriminação destes dois rios na formação do Rio Madeira: as oscilações fluviais e/ou geomorfológicas que ocorrem em períodos não correspondentes e as diferentes composições dos argilominerais, de origens geológicas diferenciadas (Guyot *et al.*, 2007) que mostram as composições mineralógicas dos argilominerais dos grupos das ilitas e esmectitas cujas concentrações são mais elevadas no Rio Beni e a caulinita mais elevada no Rio Mamoré. Dados de Martinelli *et al.* (1993) em sedimentos de várzeas do Rio Madeira comparados com os de Guyot *et al.* (2007) no Rio Beni indicam valores correspondentes que confirmam a discriminação dos escores. De uma forma geral, a composição baseada nas variáveis estabelecidas como condicionantes, confere ao Rio Madeira as características oriundas do Rio Beni. Os afluentes de menor porte não se discriminaram entre os períodos, indicando pouca variabilidade na composição das águas.

CONCLUSÕES

A ACP discriminou a formação de três grupos baseados em três variáveis condicionantes: condutividade, pH e sólidos em suspensão. AACP através da ordenação dos escores sugere que as características do Rio Madeira quanto a sua composição são diferentes entre os períodos de cheia e seca, possivelmente influenciado pelo Rio Beni seu principal formador. Quanto ao Rio Mamoré e afluentes de menor porte as suas composições se diferenciam do Rio Madeira. Desta forma a ACP mostrou ser uma ferramenta estatística de extrema importância em estudos físico-químicos de águas, pois possibilita uma investigação conjunta das variáveis consideradas; permite também inferir sobre a ação das variáveis na ordenação e discriminação dos corpos de água da bacia e suas características associadas.

AGRADECIMENTOS

Este Trabalho teve suporte financeiro do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), através dos projetos CNPq/CT-Amazônia e CNPq/PPG-7 (Procs. N^{os} 556934/2005-9 e 556972/2005-8) e CNPq/CT-Hidro (Procs. N^{os} 555521/2006-0 e 152086/2007-2); Furnas Centrais Elétricas; FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo); Departamento de Geologia Aplicada da UNESP, Campus de Rio Claro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AALTO, R.; DUNNE, T.; GUYOT, J.L. (2006) Geomorphic controls on Andean denudation rates. *The Journal of Geology*, **114**: 85-100.
- AALTO, R.; MAURICE-BOURGOIN, L.; DUNNE, T.; MONTGOMERY, D.R.; NITTRouer, C.A.; GUYOT, J.L. (2003) Episodic sediment accumulation on Amazonian flood plains influenced by El Niño/Southern Oscillation. *Nature*, **425**: 493-497.
- ANEEL (2000) Bacias Hidrográficas do Brasil. Distribuição gratuita de Compacto Disco (CD). Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>.
- BARRETO, W.J.; RIBEIRO, M.R.; SOLCI, M.C.; SCARMINIO, I.S.; NOZAKI, J.; DE OLIVEIRA, E.; BARRETO, S.R.G. (2005) Interpretation of seasonal variation of metals and abiotic properties in a tropical lake using multivariate analysis and MINTEQA2 program. *Analytical Sciences*, **213**: 209-214.
- BARRETO, W.J.; SCARMINIO, I.; SOLCI, M.C.; ISHIKAWA, D.N.; OGASAWARA, M.T.; NOMI, S.N.; BARRETO, S.R.G. (2007) Analysis of physical and chemical parameters for discrimination of water origin in a hydroelectric reservoir. *Clean-Soil Air Water*, **35**: 239-245.
- BERNARD, P.; ANTOINE, L.; BERNARD, L. (2004) Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management-application to a tropical lake system. *Ecological Modelling*, **178**: 295-311.
- BERNARDI, J.V.E.; FOWLER, H.G.; LANDIM, P.M.B. (2001) Um estudo de impacto ambiental utilizando análises estatísticas espacial e multivariada. *Holos Environmental*, **1**: 162-172.
- CASTANÉ, P.M.; ROVEDATTI, M.G.; TOPALIAN, M.L.; SALIBIAN, A. (2006) Spatial and temporal trends of physicochemical parameters in the water of the Reconquista River (Buenos Aires, Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment*, **117**: 135-144.
- DEBELS, P.; FIGUEROA, R.; URRUTIA, R.; BARRA R.; NIELL, X. (2005) Evaluation of water quality in the Chilla River (central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, **110**: 301-322.
- DOSSETO, A.; BOURDON, B.; GAILLARDET, J.; MAURICE-BOURGOIN, L.; ALLÈGRE, C.J. (2006) Weathering and transport of sediments in the Bolivian Andes: Time constraints from uranium-series isotopes. *Earth and Planetary Science Letters*, **248**: 759-771.
- ELDAW, A.K.; SALAS, J.D.; GARCIA, L.A. (2003) Long-range forecasting of the Nile River Flows Using Climatic Forcing. *Journal of Applied Meteorology*, **27**: 890-904.
- FURNAS (2005) Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatórios do Rio Madeira – Estudos de Impacto Ambiental. Relatório Técnico Final. Furnas Centrais elétricas, Porto Velho, 100 p.
- FELIPE-SOTELO, M.; ANDRADE, J.M.; CARLOSENA, A.; TAULER, R. (2007) Temporal characterization of river waters in urban and semi-urban areas using physico-chemical parameters and chemometric methods. *Analytica Chimica Acta*, **583**: 128-137.
- FILIZOLA, N.P.J. (1999) O fluxo de sedimentos em suspensão nos Rios da Bacia Amazônica Brasileira. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Brasília, DF.

- GAILLARDET, J.; BERNARD, D.; ALLÈGRE, C.J.; NÉGREL, P. (1997). Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. *Chemical Geology*, **142**: 141-173.
- GOMES, M.B. (1985) Determinação de Componentes Principais. *Ciência & Cultura*, **37**: 10-12.
- GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M.; WASSON, J.G. (1999) Characterization of river bed and suspended sediments in the Madeira River drainage basin (Bolivian Amazonian), *Journal of South American Earth Sciences*, **12**: 401-410.
- GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M.; SOARES, L.; BOAVENTURA, G.R.; MAILLET, N.; LAGANE, C. (2007) Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. *Catena*, **71**: 340- 356.
- KVALHEIM, O.M. (1998) Interpretation to latent-variable for projection methods and their use and aims in the interpretation of multicomponent spectroscopic and chromatographic data. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **4**: 11-15.
- LANDIM, P.M.B. (2000) Análise estatística de dados geológicos multivariados. Lab. Geomatématica, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128 pp. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em 22/02/2004.
- LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C.; SINHA, R. (2005) Tropical rivers. *Geomorphology*, **70**: 187- 206.
- LUDWING, J.A. & REYNOLDS, J.F. (1988) *Statistical Ecology: A primer on methods and computing*. Wiley Interscience Publication, New York.
- LYONS, W.B. & BIRD, D.A. (1995) Geochemistry of the Madeira River, Brazil: comparison of seasonal weathering reactions using a mass balance approach. *Journal of South American Earth Sciences*, **8**: 97-101.
- MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; DEVOL, A.H.; RICHEY, J.E.; FORSBERG, B.R. (1989) Suspended sediment load in the Amazon Basin: an overview. *GeoJournal*, **19**: 381-389.
- MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; DEMATTE, J.L.I.; RICHEY, J.E.; DEVOL, A.H. (1993) Chemical and Mineralogical composition of Amazon River floodplain sediments. Brazil. *Appl. Geochem.*, **8**: 391-402.
- MONTES-BOTELLA, C.; TENORIO, M.D. (2003) Water Characterization and Seasonal Heavy Metal Distribution in the Odiel River (Huelva, Spain) by Means of Principal Component Analysis. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, **45**: 436-444.
- MORTATTI, J.; FERREIRA, J.R.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; TANCREDI, A.C.F. (1989) Biogeochemistry of the Madeira River Basin. *GeoJournal*, **19**: 391-397.
- MORTATTI, J. & PROBST, J.L. (1998) *Hidrogeoquímica de bacias de drenagem*, Editoração CPG/CENA, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Série Didática, v. 1, 235p.
- ODDEN, W. & KVALHEIM, O.M. (2000) Application of multivariate modelling to detect hydrocarbon components for optimal discrimination between two source rock types. *Applied Geochemistry*, **15**: 611-627.
- SIOLI, H. (1967) Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region, *Amazoniana*, **1**: 267-277.
- STAT SOFT INC. (2004) *Statistica (data analysis software system) version 7*. Disponível em <<http://www.statsoft.com>>.
- TARDY, Y.; BUSTILLO, V.; ROQUIM, C.; MORTATTI, J.; VICTORIA, R. (2005) The Amazon. Bio-geochemistry applied to river basin management Part I. Hydro-climatology, hydrograph separation, mass transfer balances, stable isotopes, and modeling. *Applied Geochemistry*, **20**: 1746-1829.
- WANG, F.K. & DU, T.C.T. (2000) Using principal component analysis in process performance for multivariate data. *Omega The International Journal of Management Science*, **28**: 185-194.
- WOLD, S.; ESBENSEN, K.; GELADI, P. (1987) Principal component analysis. In: KVALHEIM, O.M. (ed.) *Proceedings of the Multivariate Statistical Workshop for Geologists and Geochemists*, v. 2, Chemolab, p. 37-52.