

Influência do pulso de inundação sobre variáveis limnológicas de um trecho urbano do rio Acre, Rio Branco, Acre, Brasil

The influence of flood pulse on limnological variables along an urban stretch of the Acre River, Rio Branco, Acre, Brazil

Cydia de Menezes Furtado^{1(*)}
Maria Rosélia Marques Lopes²

Resumo

O rio Acre é um rio tri-nacional que percorre o Brasil, Peru e Bolívia, sendo considerado o principal rio do estado do Acre. Atravessa o estado passando por nove municípios e desemboca no rio Purus (AM). Com o objetivo de caracterizar, limnologicamente, um trecho urbano do rio Acre, município de Rio Branco, Acre, Brasil, foram estabelecidas cinco estações de coleta, com três pontos de amostragem cada: margem esquerda, margem direita e calha do rio. As amostras foram coletadas em setembro e dezembro de 2004, março e junho de 2005, abrangendo as diferentes etapas do ciclo hidrológico (seca, enchente, cheia e vazante). Foram analisadas as seguintes variáveis: temperatura, pH, alcalinidade, carbono inorgânico livre, carbono inorgânico total, bicarbonato, carbonato, condutividade elétrica, fósforo total, nitrogênio total, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido. De acordo com os coeficientes de variação calculados, foi observada baixa variabilidade entre as estações de coleta do mesmo ciclo hidrológico, revelando que as águas do rio Acre apresentam um gradiente contínuo e previsível. A Análise de Componentes Principais (APC) discriminou o sistema com base nos maiores valores registrados para as variáveis ambientais, separando os quatro períodos sazonais. A maior parte das variáveis esteve associada aos períodos de seca e vazante, devido à dificuldade de diluição dos efluentes nesses períodos, causado pela redução das chuvas e do volume de água do rio.

Palavras-chave: Amazônia; ambiente lótico; caracterização limnológica.

1 Mestre; Bióloga; Técnica em Laboratório da Universidade Federal do Acre; Unidade de Tecnologia de Alimento (UTAL); Endereço: BR-364, km 05, CEP: 69920-900, Rio Branco, Acre, Brasil; E-mail: cydia10@gmail.com (*) Autora para correspondência

2 Dra.; Bióloga; Professora Associada do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza; Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais da Universidade Federal do Acre, UFAC; Endereço: BR-364, km 05, CEP: 69920-900, Rio Branco, Acre, Brasil; E-mail: mroselialopes@gmail.com

Abstract

Acre River is a tri-national river that runs through Brazil, Peru, and Bolivia, and is considered the main river within the Brazilian state of Acre. The river passes through nine municipalities in the state before flowing into the Purus River in the state of Amazonas. This study aims at characterizing the limnology of an urban stretch of the Acre River in the municipality of Rio Branco, Acre, Brazil. Therefore, five sampling stations were established during the period of September 2004 and June 2005, which produced a total of 60 samples and included different stages of the hydrologic cycle (dry, flood, full and ebb). The following variables were analyzed: temperature, pH, alkalinity, free and total inorganic carbon, bicarbonate, conductivity, total phosphorous, total nitrogen, turbidity, total solids, and dissolved oxygen. According to the coefficients of variation, low variability was observed between sampling stations within the same hydrologic cycle, revealing that Acre River water acts as a continuous and predictable gradient, as proposed by the Continuous Fluvial Concept. Principal Components Analysis (PCA) discriminated among system based on the largest values registered for environmental variables and clearly separated the four seasonal periods studied. Most of the variables were associated with the falling and low water period due to a higher concentration of pollutants and the difficulty of effluent dilution during this period caused by reduction in rainfall and consequently, reduction of water volume in the river.

Key words: Amazon; lotic environment; limnological characterization.

Introdução

A maioria dos estudos limnológicos em ambientes lóticos no Brasil está concentrada na região sudeste. Na região amazônica brasileira, esses estudos concentram-se na Amazônia Central onde a composição química e/ou dinâmica das variáveis físicas e químicas foram estudadas por diversos autores. Entre eles: Klinge e Ohle (1964), Sioli (1968, 1975a, 1975b, 1984), Junk e Furch (1980), Junk (1997), Kuchler et al. (2000), Pinto et al. (2009), Alves et al. (2012), Ferreira et al. (2012), Lages et al. (2013), Horbe et al. (2013).

No estado do Acre, estudos limnológicos em ambientes lóticos são escassos e, especificamente para o rio Acre, existe o trabalho de Mascarenhas;

Brabo; Silva (2004) sobre características limnológicas e concentração de mercúrio no sedimento, e de Santi et al. (2012) sobre a qualidade da água de um tributário do rio Acre (Igarapé São Francisco). Pesquisas mais recentes desenvolvidas até o momento no estado, restringem-se aos trabalhos de Keppeler e colaboradores, em rios e igarapés da bacia do rio Juruá: Keppeler et al. (2010a, 2010b); Oliveira et al. (2010); Souza; Furtado; Keppeler (2010); Santiago e Keppeler (2011); Silva et al. (2012).

Portanto, o objetivo deste estudo foi descrever as características limnológicas de um trecho urbano do rio Acre, durante as quatro fases do ciclo hidrológico (seca, enchente, cheia e vazante), partindo da hipótese de que o pulso de inundação exerce

forte influência na dinâmica das variáveis físicas e químicas da água.

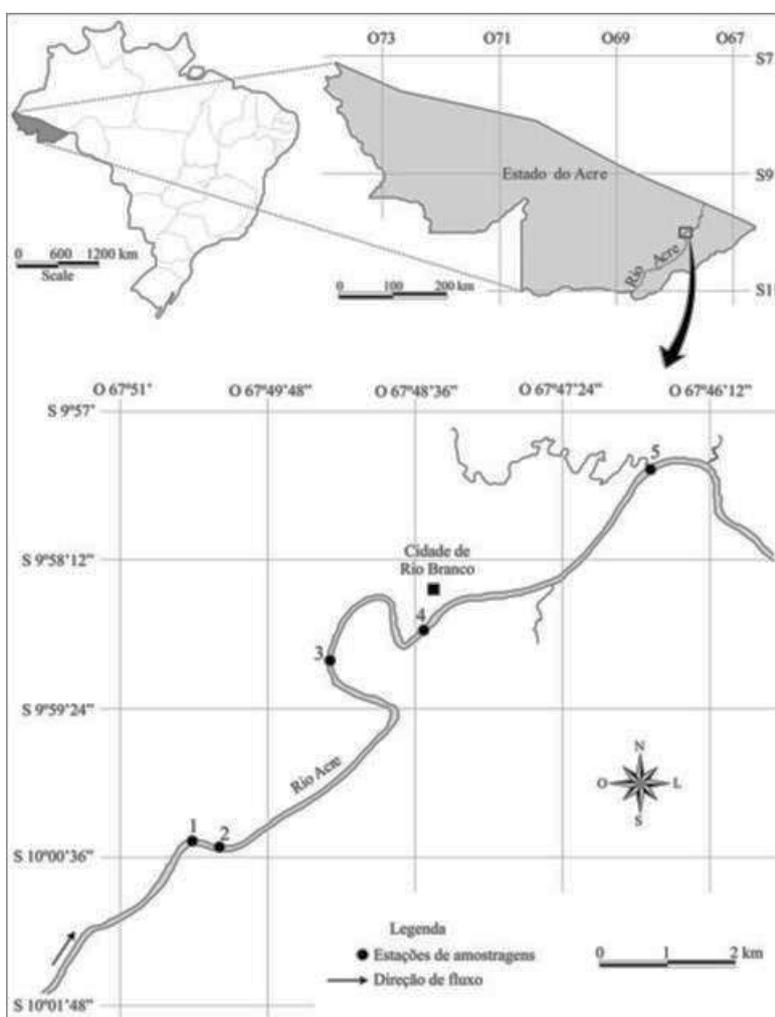
Material e Métodos

O trabalho foi realizado ao longo de um trecho do rio Acre com extensão de nove quilômetros, situado na área urbana do município de Rio Branco, Acre, Brasil. Foram estabelecidas cinco estações de coleta contendo três pontos de amostragem

cada uma: margem esquerda, margem direita e calha do rio totalizando quinze unidades amostrais (Figura 1).

O rio Acre nasce no Peru, aproximadamente a 300 m de altitude, possui uma extensão de 1.190 km e deságua com altitude de 100 m, pela margem direita no rio Purus, na cidade de Boca do Acre, AM. Possui um curso bastante sinuoso, de águas barrentas e as principais cidades instaladas às suas margens são: Iñapari

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: TAKEDA, Alice Michiyo, [s/d]. (NUPELIA, Maringá, PR).

(Peru), Cobija (Bolívia), Assis Brasil (AC), Epitaciolândia (AC), Brasiléia (AC), Xapuri (AC), Rio Branco (AC), Porto Acre (AC) e Boca do Acre (AM) (BRASIL, 2004). Suas águas são destinadas ao abastecimento público, à irrigação, à pesca, à dessedentação de animais, à recreação e ao despejo de efluentes domésticos e industriais.

A bacia do rio Acre encontra-se na depressão rio Acre - rio Javari. As colinas são as feições mais comuns e são talhadas em sedimentos da Formação Solimões, que ocupa 80% do estado. Nessa formação, predominam rochas sedimentares com posicionamento no plioceno médio ao pleistoceno, onde se desenvolveu uma floresta aberta com palmeiras, bambus e cipós sobre solos argilosos (ACRE, 2000).

O clima é quente e úmido com duas estações climáticas, seca e chuvosa, e temperatura média anual de 24,5 °C. A estação seca, popularmente, denominada “verão”, estende-se de maio a outubro. A estação chuvosa, popularmente denominada “inverno”, caracteriza-se por chuvas constantes, iniciando-se em meados de outubro e prolongando-se até o final de abril. O regime hidrológico pode ser caracterizado, em geral, por águas altas (janeiro a maio) e águas baixas (junho a outubro), com evidentes períodos de seca, enchente, cheia e vazante (ACRE, 2000).

As amostras para processamento em laboratório foram coletadas na sub-superfície a 20 cm de profundidade, nos meses de setembro e dezembro/2004, março e junho/2005 correspondendo, respectivamente, aos períodos de seca (S), enchente (E), cheia (C) e vazante (V). As análises foram realizadas no Laboratório da Unidade de Tecnologia de Alimentos e Laboratório de Limnologia, ambos da Universidade Federal do Acre. Para as variáveis

que foram medidas no campo, com sonda exploratória multiparâmetros, foi utilizada a mesma profundidade (20 cm),

As estações de coleta foram determinadas em função do grau de importância para a comunidade local: estação 1 (à montante da Estação de Tratamento de Água (ETA)), estação 2 (à jusante da ETA), estação 3 (saída de efluentes domésticos da área de maior densidade populacional do município de Rio Branco), estação 4 (local recreativo da Gameleira) e estação 5 (foz do igarapé São Francisco).

As variáveis limnológicas estudadas, bem como os métodos utilizados para as respectivas medições foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH cujas medições foram realizadas com sonda multiparâmetro YSI, modelo 600R; alcalinidade pelo método de titulação descrito em Golterman et al. (1971); turbidez, medições utilizando-se turbidímetro Hach, modelo 2100AN; sólidos totais, método gravimétrico, 105 °C, de acordo com a ABNT. NBR 10664/1989; concentração de nitrogênio total e fósforo total, método descrito em Valderrama (1981); formas de carbono inorgânico de acordo com o método descrito em Mackereth et al. (1978).

Análise univariada descritiva e exploratória foi feita pelo cálculo da média aritmética e da mediana como medidas de tendência central. O grau de variação em termos ambientais foi calculado utilizando-se o desvio padrão e o Coeficiente de Variação (CV). Correlações significativas entre variáveis ambientais foram avaliadas por meio da Correlação de Spearman utilizando-se o programa Bio Estat, versão 5.0 (AYRES et al., 2007). Análise descritiva multivariada foi realizada por aplicação de uma Análise de Componentes Principais (ACP) para as

variáveis abióticas a partir de uma matriz de covariância com os dados transformados por $\log(x + 1)$ utilizando-se o programa PC-ORD para Windows, versão 3.11 (MCCUNE; MEFFORD, 1997).

Resultados e Discussão

Os dados de cota de água e vazão do rio Acre, utilizados para interpretação da dinâmica de algumas variáveis limnológicas, foram obtidos da Agência Nacional de Água e da precipitação pluviométrica da Estação de Meteorologia da Universidade Federal do Acre (Tabela 1).

Os resultados das análises físicas e químicas revelaram que a dinâmica sazonal controla as variáveis físicas e químicas no rio Acre. Foi observada baixa variabilidade espacial e alta variabilidade temporal para a maioria das variáveis estudadas, exceto oxigênio dissolvido, temperatura da água, nitrogênio total, pH e CO_2 total, cuja variabilidade foi baixa tanto entre os períodos sazonais quanto entre as estações de coleta. A alta variabilidade pode ser explicada em função da variação do regime hidrológico do rio Acre provocado pelo pulso de inundação. Analogamente, Sioli (1984) relata que as investigações limnológicas no rio Amazonas e nos corpos d'água adjacentes demonstram que todos os fenômenos vitais na água,

como também as variações físicas e químicas dependem do regime hidrológico do rio.

Alta variabilidade temporal, associada aos períodos sazonais e pulso de inundação dos rios, também foi observada por outros autores em ecossistemas lóticos amazônicos (PINTO et al., 2009; ALVES et al., 2012; FERREIRA et al., 2012; HORBE et al., 2013, LAGES et al., 2013).

O padrão de distribuição da temperatura da água, entre as estações de coleta e entre os períodos sazonais, revelou altos valores no período de seca nas estações 4 e 5, e menores valores no período de enchente e cheia na estação 5 (Figura 2A). Os menores valores observados na estação 5, nesses períodos, estão relacionados com a descarga do igarapé São Francisco, um tributário do rio Acre, que provocou maior turbulência no local, com conseqüente entrada de oxigênio na massa d'água.

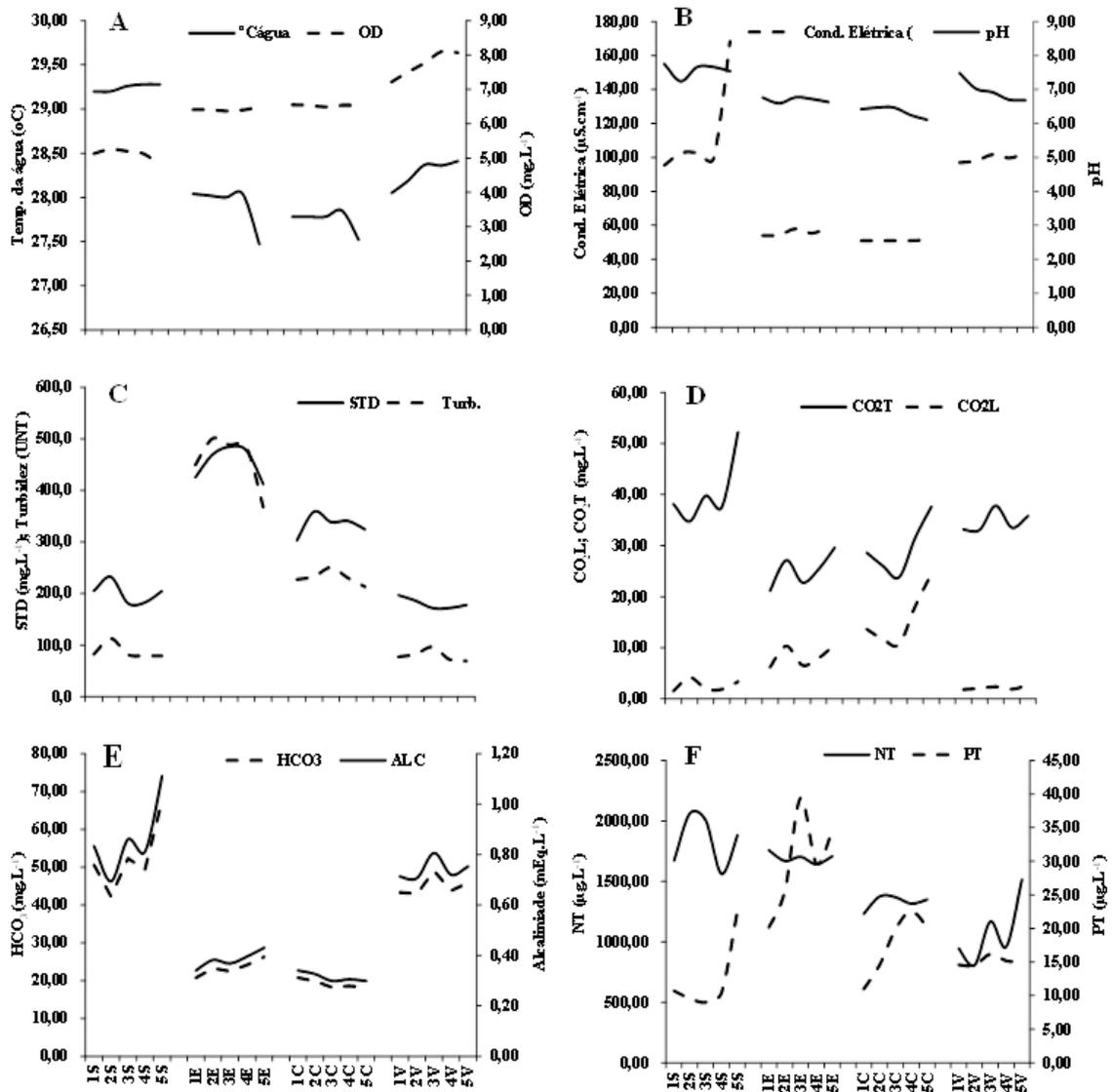
A temperatura da água apresentou-se relativamente alta, em todo o período estudado, com pouca variabilidade entre os períodos sazonais ($\text{CV}=2,5\%$ a $3,04\%$) e entre as estações de coleta ($\text{CV}=0,14\%$ a $0,89\%$). Essas temperaturas altas e constantes são características dos rios de regiões tropicais, onde a variação sazonal é pouco acentuada em relação à variação diária (ESTEVEZ, 2011). As estações térmicas anuais ausentes são, muitas vezes,

Tabela 1 - Valores para cota e vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) do rio Acre e precipitação pluviométrica (mm), nos meses de setembro e dezembro/2004, março e junho/2005

Período climático	Cota do rio	Vazão	Precipitação Pluviométrica
Seca (setembro/2004)	2,5	24,4	35,6
Enchente (dezembro/2004)	4,6	112,0	178,2
Cheia (março/2005)	7,92	551,0	219,2
Vazante (junho/2005)	2,96	36,0	108,8

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA)/Estação de Meteorologia da UFAC, [s/d].

Figura 2 - Padrão de distribuição das variáveis limnológicas em um trecho urbano do rio Acre, nos meses de setembro e dezembro/2004, março e junho/2005, nos períodos sazonais de seca (S), enchente (E), cheia (C) e vazante (V). (1-5=estações de coleta; OD=oxigênio dissolvido; STD=sólidos totais dissolvidos; CO2L=dióxido de carbono livre; CO2T=dióxido de carbono total; HCO3=bicarbonato; PT=fósforo total; NT=nitrogênio total).



Fonte: Autores (2014).

substituídas, na faixa tropical, por estações de diferentes pluviosidades. Esse padrão de temperatura acelera os processos químicos e também os biológicos, tanto de produção como de decomposição (SIOLI, 1984).

O oxigênio dissolvido constitui-se numa das principais variáveis limnológicas, pois, além de afetar diretamente toda a biota dos ambientes aquáticos, regula também inúmeros processos químicos que ocorrem nesses ambientes (WETZEL, 1993; ESTEVES, 2011).

O padrão de distribuição do OD -oxigênio dissolvido- foi praticamente uniforme entre as estações de coleta no período de enchente e cheia, sendo os maiores valores detectados na vazante (Figura 2A). Nesse período, o volume das águas do rio começou a baixar e, de acordo com Wetzel (1983), ocorre a formação de funil de ventilação que proporciona uma entrada maior de oxigênio proveniente da atmosfera.

O OD não apresentou variabilidade significativa entre as estações de coleta ($CV=0,36\%$ a $4,85\%$) e nem entre os períodos sazonais ($CV=13,80\%$ a $20,64\%$). Os maiores valores foram observados na vazante e na cheia o que, possivelmente, pode ser explicado devido ao aumento da correnteza do rio nesse período. Por outro lado, no período de seca, quando diminuiu a correnteza e a vazão, foram registrados os menores valores, provavelmente, devido à maior concentração da matéria orgânica, em relação aos demais períodos sazonais, e à ação dos decompositores.

Dinâmica similar para OD foi observada em outros sistemas lóticos, não amazônicos, como por exemplo, Smith e Petrere (2000) que caracterizaram, limnologicamente, a bacia de drenagem do rio Sorocaba, SP e, dentre os vários rios por eles estudados, destacou-se o rio Pirapora com comportamento similar ao do

rio Acre para a variável OD, que apresentou maiores valores na época de chuva. Os autores atribuíram esse fato à maior concentração de poluentes na época seca e à dificuldade de diluição dos efluentes pela diminuição do volume da água do rio. Para as variáveis alcalinidade e CO_2 Total obtiveram maiores valores também na seca. Os valores de pH e temperatura no rio Pirapora foram maiores na chuva contrapondo-se ao comportamento dessas variáveis no presente estudo.

O padrão de distribuição da condutividade elétrica entre as estações de coleta e entre os períodos sazonais mostrou maiores valores na seca e vazante (Figura 2B), com maior variabilidade entre os períodos sazonais ($CV=33,98\%$ a $56,23\%$) e menor entre estações de coleta ($CV=0,46\%$ a $27,04\%$). O decréscimo nos valores de condutividade, na época de enchente e cheia, refletiu a diluição das águas do rio Acre devido aos altos índices de precipitação pluviométrica na região. Considerando que a condutividade elétrica reflete a concentração de íons em solução (ESTEVES, 2011), esses valores mais altos na seca e vazante, provavelmente estão relacionados com os altos valores de alcalinidade e pH nesse período.

Küchler et al. (2000) compararam rios de água preta (rio Negro) e água branca (rio Solimões) durante o verão, nos anos de 1995 e 1997, períodos nos quais foram observadas diferenças nos valores de pH que oscilaram entre 3,89 e 6,07 para o rio Negro e entre 6,93 e 6,99 para o rio Solimões. Os valores de condutividade elétrica oscilaram entre 8,8 e $28,6 \mu S.cm^{-1}$, para o rio Negro, e de 68,8 a $93,3 \mu S.cm^{-1}$ para o rio Solimões. Os valores de pH e condutividade elétrica do rio Acre se assemelharam aos valores do rio Solimões, ambos classificados como rios de água branca segundo Sioli (1984).

O padrão de distribuição do pH mostrou-se, relativamente constante, revelando pouca variabilidade entre as estações de coleta (CV=1,2% a 4,66%) e entre os períodos sazonais (CV=5,29% a 8,79%).

Os valores de pH oscilaram de neutro a levemente alcalino na vazante e na seca, enquanto que, na enchente e na cheia, mantiveram-se próximo do neutro (Figura 2B). A redução dos valores de pH, durante o período de enchente e cheia, possivelmente, está relacionada com o maior aporte de matéria orgânica lixiviada do solo que influenciou a concentração das formas de carbono inorgânico (CO_2 , HCO_3^- e CO_2 livre), responsáveis pelas variações do pH (ESTEVEZ, 2011). Essas pequenas variações podem ser atribuídas à presença de íons carbonatos e bicarbonatos que atuam na formação de um sistema tamponante (COLE, 1983).

A identificação de pH neutro a levemente ácido, condutividade elétrica moderada a alta e elevada quantidade de material particulado em suspensão para as águas do rio Acre, são características típicas dos rios amazônicos (SIOLI, 1984).

No período de águas altas (enchente e cheia) as variáveis sólidos totais dissolvidos e turbidez tiveram um aumento considerável em relação ao período de águas baixas (seca e vazante), o que era esperado, por conta do pulso de inundação do rio. A variabilidade foi alta entre os períodos sazonais (CV=37,79% a 50,47%) para STD, (CV=76,87% a 89,14%) para turbidez e baixa entre estações de coleta (CV=5,90% a 6,22%) para STD; (CV=5,75% a 16,63%) para turbidez.

Em geral, os valores de turbidez estão relacionados ao material em suspensão presente nos corpos d'água, o que determinou um padrão de distribuição semelhante para

STD e turbidez (Figura 2C). A concentração de STD foi alta em todas as estações de coleta e períodos sazonais, e as maiores concentrações de turbidez e sólidos totais estão associadas aos períodos de chuvas que proporcionaram o carreamento do material sólido para o leito do rio.

Mascarenhas et al. (2004) estudaram as águas do alto rio Acre no trecho entre as cidades de Brasiléia e Assis Brasil (AC) e encontraram valores médios de 6,73 para pH e 245,27 mg.L^{-1} para STD. Esses valores próximos aos encontrados neste estudo, associados com a baixa variabilidade dos dados ao longo do trecho estudado no rio, corroboram o conceito do contínuo fluvial sugerido por Vannote et al. (1980).

Segundo Wetzel (1993), as formas de carbono estão fundamentalmente relacionadas com o pH do meio. Em todos os períodos sazonais estudados, as concentrações das formas de carbono inorgânico foram dependentes do pH, indicaram a presença de dióxido de carbono livre (CO_2), bicarbonato (HCO_3^-) e teores quase nulos de carbonato (CO_3^{2-}).

No período de seca e na vazante, o padrão de distribuição do CO_2 livre mostrou maiores valores na enchente e na cheia (Figura 2D). As variações, em média, foram altas entre os períodos sazonais (CV=65,97% a 102,62%) e mais baixas entre as estações de coleta (CV=16,50% a 43,82%).

Considerando que a maior contribuição de CO_2 para a água provém da atmosfera (ESTEVEZ, 2011), os valores mais baixos de CO_2 livre, registrados na seca e na vazante, podem estar relacionados à menor aeração do rio nesse período que diminuiu a difusão dos gases atmosféricos. Além disso, parte do CO_2 diluído reagiu com a água produzindo carbonatos e bicarbonatos.

Em média, a estação 5 foi a que apresentou os maiores valores de CO_2 livre ao longo dos períodos sazonais. Esse fato pode estar relacionado à decomposição da matéria orgânica que é maior nessa estação de coleta, devido ao despejo de efluentes domésticos no rio Acre pelo igarapé São Francisco.

Os valores obtidos para CO_2 total foram maiores na seca, com maiores valores na estação 5, o que era esperado, devido às maiores concentrações de CO_2 livre e HCO_3^- observadas no referido local (Figura 2D). No entanto, a variabilidade espacial e sazonal dos dados foi baixa tanto entre os períodos sazonais (CV=14,24% a 28,99%) quanto entre estações de coleta (CV=6,00% a 18,16%).

O padrão de distribuição de HCO_3^- mostrou maiores valores na seca e vazante, em uma relação direta com a alcalinidade, tanto em relação ao padrão de distribuição (Figura 2E) quanto na variabilidade dos dados entre os períodos sazonais (CV=38,15% a 55,85%) e entre estações de coleta (CV=5,61% a 17,72%).

A presença de HCO_3^- pode ter contribuído para o aumento da alcalinidade na seca e na vazante, reagindo com a água e formando ácido carbônico e íons hidroxila (equilíbrio ácido – base). Stum e Morgan (1981) relatam, que em águas com pH abaixo de 9,0 o íon, predominantemente, é HCO_3^- e, nesse caso, os valores de alcalinidade e a concentração de HCO_3^- são praticamente idênticas. Segundo Cole (1983), este íon é responsável pelo aumento da alcalinidade. No presente trabalho, o padrão de distribuição do HCO_3^- nas estações de coleta e períodos sazonais corroborou as afirmações dos referidos autores.

Os maiores valores de alcalinidade foram observados nas estações 3 e 5, na vazante e na seca, respectivamente, e os menores, na enchente e cheia (Figura 2E),

com alta variabilidade entre os períodos sazonais (CV=37,99% a 55,86%) e baixa variabilidade entre estações de coleta (CV=5,59% a 17,72%).

A estação 3 recebe descarga de efluentes domésticos e a estação 5 está localizada na desembocadura do igarapé São Francisco que, também, recebe efluentes domésticos da maioria dos bairros do município de Rio Branco. Nos períodos de vazante e seca, o rio apresenta baixo volume de água, devido à redução da pluviosidade, favorecendo maior concentração de íons presentes nos efluentes, provenientes da decomposição da matéria orgânica e responsáveis pela elevação da alcalinidade.

O carbonato (CO_3^{2-}) não influenciou na concentração de CO_2 total e nem na alcalinidade, pois suas concentrações foram muito baixas em todos os períodos sazonais (0,00 mg.L^{-1} a 0,11 mg.L^{-1}). Essas baixas concentrações são consideradas normais para águas com pH inferior a 10 (CARMOUZE, 1994; ESTEVES, 2011). Neste estudo, o maior valor encontrado para pH foi 7,75.

Considerando que a concentração do ortofosfato é bastante variável por conta de sua rápida incorporação pelas comunidades aquáticas, PT e NT são os melhores indicadores do conteúdo de nutrientes em qualquer ecossistema (PAYNE, 1986).

Em todo o período estudado, o PT apresentou concentrações consideradas baixas. Essas baixas concentrações sugerem a existência de limitação por fósforo no ambiente, contudo, valores maiores foram encontrados na época da enchente (Figura 2F). A estação 3, no período de enchente, obteve valor máximo (39,43 $\mu\text{g.L}^{-1}$), responsável pela alta variabilidade (CV=31,21% a 61,45%) entre os períodos sazonais. Esses valores se justificam

devido ao aporte de efluentes domésticos para o leito do rio nessa estação de coleta. O aumento das concentrações de PT, no período de enchente, está diretamente relacionado com a presença das chuvas, revelando a importância da contribuição alóctone desse nutriente para o leito do rio.

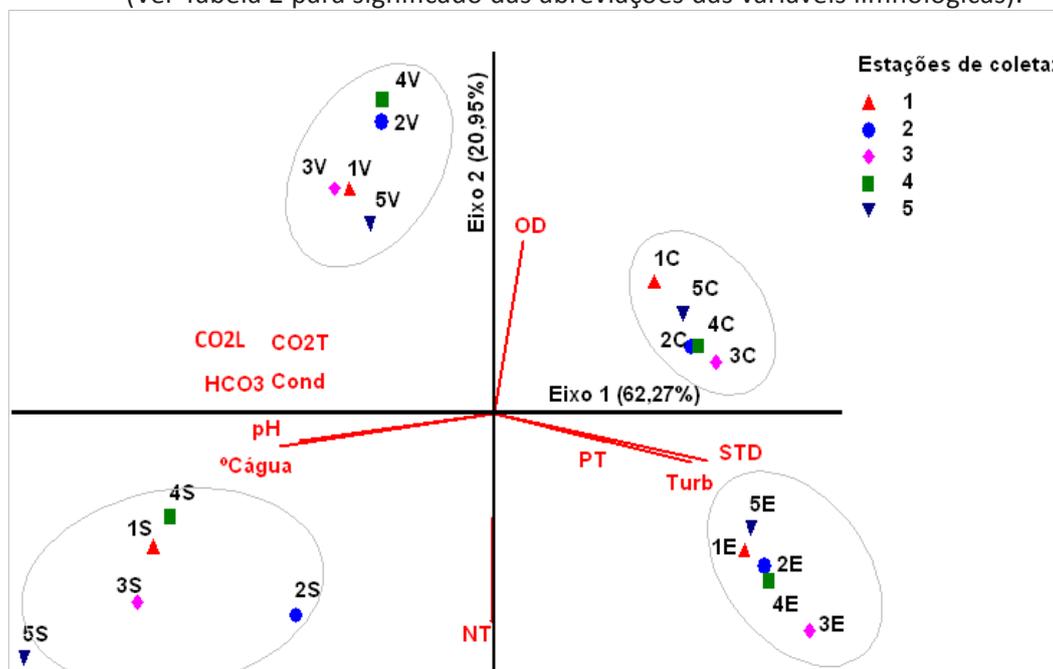
O NT se fez presente em altas concentrações ao longo do período de estudo, com baixa variabilidade entre os períodos sazonais (CV=14,29% a 35,77%) e entre as estações de coleta (CV=2,57% a 25,54). O padrão de distribuição do NT revelou decréscimo nas concentrações ao longo dos períodos sazonais, com maiores valores sendo registrados na seca (Figura 2F). Esses valores maiores, nesse período, estão relacionados com a maior taxa de decomposição em

função do baixo nível da água, diminuição do fluxo e aumento da temperatura que favoreceram os processos de decomposição da matéria orgânica no rio. De acordo com Wetzel (1993) e Esteves (2011), a liberação de compostos nitrogenados na água é consequência dos processos de decomposição da matéria orgânica. Por outro lado, entre as estações de coleta, a tendência foi de aumento para a estação 5, foz do igarapé São Francisco, que transporta grande carga de efluentes domésticos e deposita no rio.

Análise de Componentes Principais (ACP)

A análise de componentes principais realizada, conjuntamente, para os períodos de seca, enchente, cheia e vazante, está

Figura 3 - Ordenação pela ACP das estações de coleta e períodos sazonais, em função das variáveis físicas e químicas analisadas em um trecho urbano do rio Acre nos meses de setembro e dezembro de 2004, março e junho de 2005: Eixo 1 x Eixo 2. As unidades amostrais obedecem a sequência de estações de coleta (1, 2, 3, 4 e 5) e períodos sazonais (S=seca, E=enchente, C=cheia e V=vazante). (Ver Tabela 2 para significado das abreviações das variáveis limnológicas).



Fonte: Autores (2014).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Pearson e Kendall entre as variáveis físicas e químicas e os dois primeiros eixos da ordenação na ACP, determinados para um trecho urbano do rio Acre, nos meses de setembro e dezembro de 2004, março e junho de 2005, nos períodos sazonais de seca, enchente, cheia e vazante

Variável	Componentes Principais	
	Eixo 1	Eixo 2
pH	-0,836	-0,328
Oxigênio dissolvido (OD)	0,321	0,833
Condutividade elétrica (Cond)	-0,911	-0,03
Turbidez (Turb)	0,844	-0,445
Temperatura da água (°Cágua)	-0,880	-0,375
Nitrogênio total (NT)	-0,103	-0,922
Fósforo total (PT)	0,640	-0,342
Sólidos totais dissolvidos (STD)	0,880	-0,441
CO ₂ Total (CO ₂ T)	-0,852	-0,015
HCO ₃ ⁻ (HCO ₃)	-0,958	-0,025
CO ₂ Livre (CO ₂ L)	-0,943	0,052
Explicabilidade	62,27%	20,95%

Fonte: Autores (2014).

representada no diagrama de dispersão da figura 3 e na tabela de coeficientes de correlação entre as variáveis e os dois primeiros eixos da ordenação (Tabela 2). Nos dois primeiros eixos, obteve-se 83,22% de explicação da variabilidade total dos dados no sistema, sendo 62,27% no Eixo 1 e 20,95% no Eixo 2.

No Eixo 1, as unidades amostrais referentes aos períodos de vazante e seca foram posicionadas no lado negativo do eixo, associadas aos altos valores de HCO₃⁻, CO₂T, CO₂L, condutividade elétrica, temperatura e pH. As unidades amostrais dos períodos de enchente e cheia, associadas aos altos valores de PT, turbidez e sólidos totais, foram posicionadas no lado negativo do eixo. A distribuição das unidades amostrais foi baseada na variação temporal dos dados e o sistema foi discriminado com base nos

maiores valores registrados para as variáveis ambientais. Portanto, o Eixo 1 discriminou os períodos sazonais de seca e chuva. A maior parte das variáveis está associada com o período de seca e vazante. Isso ocorreu, possivelmente, devido à maior concentração de poluentes na época seca e, também, devido à dificuldade de diluição dos efluentes pela ausência de chuvas, com conseqüente diminuição do volume de água do rio.

Com relação ao eixo 2, as unidades referentes ao período de seca e enchente foram associadas negativamente aos altos teores de NT, enquanto as unidades da cheia e vazante foram associadas positivamente aos altos teores de OD. A distribuição das unidades amostrais também foi baseada na variação temporal dos dados. As unidades amostrais, localizadas no lado negativo do eixo, associadas com NT, são constituídas

por aquelas em que esta variável apresentou os mais altos valores, em função do aporte de material alóctone durante a enchente (vazão $112,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e concentração no meio aquoso durante a seca (vazão $24,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Por outro lado, as unidades amostrais localizadas no lado positivo do eixo, associadas com OD, são constituídas por aquelas em que esta variável apresentou os mais altos valores, possivelmente devido à turbulência do fluxo da água na cheia (vazão $551,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Considerações Finais

Com base na alteração sazonal das variáveis limnológicas analisadas no presente estudo, foi possível observar que a dinâmica sazonal controla os parâmetros físico-químicos no rio Acre. A precipitação pluvial, responsável pela flutuação do ciclo hidrológico do rio (seca, enchente, cheia e vazante), determinou o pulso de inundação como fator de força que exerceu forte influência sobre as variáveis abióticas estudadas. Esse fato foi comprovado pelos cálculos dos coeficientes de variação (CV%), que foram maiores entre os períodos sazonais para a maioria das variáveis estudadas, e pela análise de componentes principais que separou claramente os quatro períodos sazonais estudados.

Referências

ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico: Recursos Naturais.** Meio Ambiente. v.1. Rio Branco: SECTMA, 2000.

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazonica*, Manaus, v.42, n.1, p.115-124, 2012.

Além disso, com base nas características peculiares das estações de coleta 3 e 5, que apresentaram as maiores concentrações na maioria das variáveis analisadas, ficou comprovado que a carga de efluentes domésticos, *in natura*, que essas estações recebem, pode ser considerada, também, um importante fator de força na alteração das características físicas e químicas do ambiente estudado.

Embora as variáveis físicas e químicas utilizadas neste estudo tenham evidenciado os impactos provocados no trecho estudado do rio Acre, é importante que se amplie o número de variáveis a serem analisadas, como por exemplo, metais pesados, fenóis, compostos organoclorados e bioindicadores, que possibilitam a identificação de outras formas de ação antrópica que o rio possa estar sofrendo.

Levando em conta que as águas do rio Acre são utilizadas para o abastecimento público, é imprescindível que medidas sejam adotadas no sentido de reduzir a ação antrópica que provoca poluição, como por exemplo, implantar o tratamento de esgotos domésticos para melhorar a qualidade da água do rio antes que essa bacia hidrográfica fique em situação crítica.

Apoio: Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais; Universidade Federal do Acre (UFAC).

- AYRES, M.; AYRES Jr, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. S.; AYRES, L. L. **Bio Estat 5.0:** aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Belém: UFPA, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10664:** Águas - Determinação de resíduos(sólidos) - Método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1989.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. **Transporte Hidroviário, Bacias Hidrográficas**, 2004. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/bit/inhidro.htm>>. Acesso em: 10 maio 2013.
- CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos:** fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. São Paulo: Edgard Blücher Ltda e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1994.
- COLE, G. A. **Textbook of limnology**. 3. ed. London: C.V. Mosby Company, 1983.
- ESTAÇÃO DE METEOROLOGIA DA UFAC. **Precipitação pluviométrica**. Rio Branco: UFAC, [s/d].
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- FERREIRA, S. J. F.; MIRANDA, S. A. F.; MARQUES-FILHO, O.; SILVA, C. C. Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v.42, n.4, p.533 – 540, 2012.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHMSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. 2. ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. IBP Handbook, 1978. n.8.
- HORBE, A. M. C.; QUEIROZ, M. M. A.; MOURA, C. A. V.; TORO, M. A. G. Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários - Amazonas – Brasil. **Acta Amazonica**, Manaus, v.43, n.4, p.489-504, 2013.
- JUNK, W. J. Structure and function of the large Central-Amazonian river-floodplains: synthesis and discussion. In: JUNK, W. J. (Ed.). **The Central Amazon Floodplain:** ecology of a pulsing system. Berlin: Springer Verlag. Ecological Studies, v.126, 1997. p.455-472.
- JUNK, W. J.; FURCH, K. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés na bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. Parte I. **Acta Amazonica**, Manaus, v.10, n.3, p.611-633, 1980.
- KEPPELER, E. C.; SILVA, E. S.; SOUZA, R. M. S.; OLIVEIRA, E. A.; SOUZA, A. S.; MADEIRA, F. P. *Keratella lenzi* (Hauer, 1953): a new occurrence for Acre State, Brazil, specifically in Igarapé Jesumira located in Parque Nacional da Serra do Divisor. **Biotemas**, v.23, n.2, p.219-221, 2010a. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2010v23n2p219>>. Acesso em: 23 ago. 2013.
- KEPPELER, E. C.; SOUZA, S. L. S.; SILVA, E. S.; SERRANO, R. O. P.; SOUZA, R. M.; DANTAS, I. S.; SILVÉRIO, J. F.; MADEIRA, F. P. Rotífera, Eurotatoria, Lecanidae, *Lecane nonostyla* (Daday, 1897): New occurrence for State of Acre. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.14, n.1, p.9-14, 2010b. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26018705002>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

KLINGE, H.; OHLE, W. Chemical properties of rivers in the Amazonian area in relation to soil condition. **Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie**, v.15, p.1067-1076, 1964.

KÜCHLER, I. L.; MIEKELEY, N.; FORSBERG, B. R. A Contribution to the Chemical Characterization of Rivers in the Rio Negro Basin, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.11, n.3, p.286-292, 2000.

LAGES, A. S.; HORBE, A. M. C.; MOQUET, J. S. Geoquímica de rios de água preta do sudeste do Amazonas: Origem, fluxo dos elementos e consumo de CO₂. **Acta Amazonica**, Manaus, v.43, n.3, p.343-352, 2013.

MACKERETH, F.J. H.; HERON, J.; TALLING, F.J. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. Cumbria: Freshwater Biological Association Scientific Publication, 1978.

MASCARENHAS, A. F. S.; BRABO, E. S.; SILVA, A. P. Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, AC, Brasil. **Acta Amazonica**, Manaus, v.34, n.1, p.61-68, 2004.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M. J. **PC-ORD Multivariate analysis of ecological data**. Version 3.0. Oregon: MJM Software Design, 1997.

OLIVEIRA, E. A.; FREITAS, J. S.; KEPPELER, E. C.; GOMES, C. G.; NASCIMENTO, A. M.; SERRANO, R. O. P.; MEDALHA, J. A.; SILVA, A. J. A. Zooplâncton de dois ecossistemas aquáticos rasos, em áreas de incidência do *Anopheles darlingi*, no noroeste no estado do Acre. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.14, n.2, p.71-81, 2010. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26018705002>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

PAYNE, A. I. **The ecology of tropical lakes e rivers**. New York: J. Wiley & Sons, 1986.

PINTO, A. G. M.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; SANTOS, H. M. C. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazonica**, Manaus, v.39, n.3, p.627-638, 2009.

SANTI, G. M.; FURTADO, C. M.; MENEZES, R. S.; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecología Aplicada**, v.11, n.1 p.22-31, 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34123961003> ISSN 1726-2216>. Acesso em: 23 ago. 2013.

SANTIAGO, R. T.; KEPPELER, E. C. Fitoplâncton de um trecho do rio Japiim em Mâncio Lima – AC. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.15, n.5, p.91-98, 2011. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26018705000>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

SILVA, E. S.; KEPPELER, E. C.; SILVÉRIO, J. F. Composition of zooplankton of the small river Jesumira, located in a cleared in area at the Park National Serra do Divisor, State of Acre, Brazil. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v.33, n.2, p.201-210, 2012. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/seminabio>>. Acesso em: 23ago. 2013.

SIOLI, H. Hidrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. **Amazoniana**, v.1, n.3, p.267-277, 1968.

SIOLI, H. Amazon tributaries and drainage basins, In: HASLES, A. D. (Ed.). **Coupling of Land and Water Systems**. Ecological Studies. Berlin: Springer-Verlag, 1975a. p.199-213.

SIOLI, H. Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. In: GOLLEY, F. B.; MEDINA, E. (Ed.). **Tropical Ecosystems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research**. New York: Springer-Verlag, 1975b. p.275-287.

SIOLI, H. The Amazon and its main affluent: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: SIOLI, H. (Ed.). **The Amazon**. Limnology and Landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dordrecht: Dr Junk Publishers, 1984. Cap. 5, p.127-165.

SMITH, W. S.; PETRERE JÚNIOR, M. Caracterização limnológica da bacia de drenagem do rio Sorocaba, São Paulo. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v.12, p.15-27, 2000.

SOUZA, G. A. C.; FURTADO, C. M.; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de variáveis limnológicas e coliformes fecais do igarapé Preto, em Cruzeiro do Sul-AC. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.15, n.5, p.65-80, 2010. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26018705002>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

STUM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters**. 2.ed. New York: J. Wiley & Sons, 1981.

VALDERRAMA, J. C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. **Marine Chemistry**, v.10, n.2, p.109-122, 1981.

VANNOTE, R. C.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. 1980. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.37, n.1, p.130-137, 1980.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.

Apêndice

Tabela 3 - Valores das variáveis físicas e químicas analisadas em um trecho urbano do rio Acre nos meses de setembro e dezembro de 2004, março e junho de 2005. Os dados desta tabela correspondem aos da Figuras 2 (A-F).

	Temp.	OD	pH	Cond.	Turb.	Alcal.	HCO ₃	CO ₂	CO ₂ T	CO ₃ ²⁻	ST	PT	NT
	°C	mg.L ⁻¹	pH	µS.cm ⁻¹	UNT	mEq.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	µg.L ⁻¹	µg.L ⁻¹
1S	29,20	5,13	7,75	95,36	82,20	0,83	50,56	1,56	38,11	0,12	205,33	10,72	1673,56
1E	28,04	6,41	6,76	54,00	449,66	0,34	20,74	6,24	21,20	0,00	425,66	20,20	1758,60
1C	27,78	6,55	6,42	51,00	227,33	0,34	20,73	13,64	28,60	0,00	303,33	11,02	1233,00
1V	28,05	7,22	7,48	97,00	77,16	0,71	43,34	1,84	33,16	0,07	196,66	14,59	945,20
2S	29,20	5,26	7,24	102,50	112,63	0,69	42,28	4,21	34,73	0,03	232,33	9,58	2064,08
2E	28,02	6,41	6,59	54,33	500,63	0,38	23,28	10,35	27,15	0,00	469,33	25,52	1670,70
2C	27,78	6,54	6,47	51,00	233,00	0,33	19,89	11,66	26,01	0,00	359,00	14,58	1377,00
2V	28,19	7,51	7,02	98,00	82,10	0,71	42,96	2,05	33,08	0,06	186,00	14,53	807,30
3S	29,26	5,20	7,66	102,76	81,46	0,86	52,30	1,98	39,78	0,10	181,33	9,02	2007,41
3E	28,00	6,37	6,77	58,00	488,33	0,37	22,43	6,59	22,78	0,01	485,00	39,43	1704,70
3C	27,78	6,49	6,47	51,00	250,33	0,30	18,20	10,67	23,80	0,00	338,66	19,90	1370,00
3V	28,37	7,77	6,92	101,66	96,20	0,81	49,04	2,39	37,82	0,07	171,66	16,18	1168,10
4S	29,28	5,13	7,66	99,13	79,33	0,81	49,35	1,87	37,53	0,09	182,33	10,43	1563,34
4E	28,04	6,40	6,72	55,33	484,66	0,40	24,13	7,96	25,37	0,01	477,66	29,67	1642,80
4C	27,85	6,54	6,25	51,00	230,00	0,31	18,61	18,11	31,54	0,00	341,00	22,57	1317,00
4V	28,36	8,10	6,70	99,66	72,10	0,72	43,76	1,90	33,52	0,07	171,66	15,20	960,70
5S	29,28	4,80	7,54	168,30	78,90	1,11	67,56	3,37	52,17	0,10	204,33	22,62	1881,42
5E	27,47	6,49	6,63	59,00	368,00	0,43	26,24	10,64	29,58	0,00	412,33	34,70	1709,30
5C	27,52	6,53	6,11	51,53	213,33	0,30	18,20	24,45	37,57	0,00	324,66	20,20	1351,00
5V	28,41	8,07	6,68	105,33	69,16	0,75	45,82	2,69	35,78	0,06	177,66	15,05	1515,20

Fonte: Autores (2014).