

Artigo Técnico

Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental

Water quality and trophic index in tropical riverine ecosystem under environmental impact

Carlos Henrique Medeiros de Abreu¹, Alan Cavalcanti Cunha²

RESUMO

O objetivo deste estudo foi quantificar a variabilidade espacial-temporal de 20 parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da qualidade da água (incluindo o índice de estado trófico - IET) no Baixo Rio Jari, Amapá, típico de ecossistemas de várzea. Amostras de água foram coletadas trimestralmente em um trecho de 80 km de extensão do rio, entre setembro de 2013 e junho de 2014. Após análises, esses parâmetros foram comparados com valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Classe 2). Análises multivariadas (correlação, Kruskal-Wallis e cluster hierárquico) mostraram que o único parâmetro que variou espacialmente foi o oxigênio dissolvido (OD) ($p < 0,05$), devido à forte influência da reaeração no trecho. Por outro lado, os demais parâmetros — cor, turbidez, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), NH_3 , P, pH, SO_4 , Mg, Cl, coliformes termotolerantes (CT), *Escherichia coli* e clorofila-a — apresentaram apenas variação temporal significativa ($p < 0,05$). Conclui-se que variação do IET ocorreu entre oligotrófico, mesotrófico e ultraoligotrófico, e os parâmetros cor, CT e *E. coli* estavam em não conformidade com a legislação, sugerindo influência relativa, mas significativa, tanto de impactos ambientais (urbanos, indústrias e da usina hidrelétrica Santo Antônio do Jari) quanto hidrológicos. Isso explica não só a variação sazonal de CT, *E. coli* e cor no período mais chuvoso ($p < 0,05$), mas também a correlação entre cor, turbidez, temperatura, OD, Cl, NH_3 , Mg, DBO, SO_4 , pH, *E. coli*, CT e clorofila-a ao longo do ciclo hidrológico e dinâmica sazonal ($p < 0,05$), influenciando indiretamente o comportamento sazonal do IET ($p < 0,05$).

Palavras-chave: parâmetros; variação espacial-sazonal; influência hidrológica; análise multivariada.

ABSTRACT

The objective of this investigation was to quantify the spatial-temporal variability of 20 physical, chemical and microbiological water quality parameters (including the trophic state index - TSI) in the Lower Jari River, Amapá, Brazil, typical of floodplain ecosystems. Water samples were collected quarterly in a stretch of 80 km of the river, from September 2013 to June 2014. After analysis, these parameters were compared with values established by the CONAMA Resolution 357/2005 (Class 2). Multivariate analysis (correlation, Kruskal-Wallis and cluster hierarchical) showed that the only parameter that varied spatially was the dissolved oxygen (DO) ($p < 0,05$), due to the strong influence of the stretch reaeration. On the other hand, the other parameters — color, turbidity, electrical conductivity, biochemical oxygen demand (BOD), NH_3 , P, pH, SO_4 , Mg, Cl, thermotolerant coliforms (TC), *Escherichia coli* and chlorophyll-a — showed only significant temporal variation ($p < 0,05$). We conclude that variation of the TSI ranged from oligotrophic, mesotrophic until ultraoligotrophic. Color, TC and *E. coli* parameters presented non-compliance with legislation, suggesting relative, but significant, influence, both of hydrological and environmental impacts (urban, industries and hydroelectric plant of Santo Antonio do Jari). Both factors explain not only the seasonal variation of TC, *E. coli* and color during the rainy season ($p < 0,05$), but also the correlation among color, turbidity, temperature, DO, Cl, NH_3 , Mg, DBO, SO_4 , pH, *E. coli*, TC and chlorophyll-a, along the hydrological cycle and its seasonal dynamics ($p < 0,05$), indirectly influencing the behavior of the TSI ($p < 0,05$).

Keywords: parameters; space-seasonal variation; hydrologic influence; multivariate analysis.

INTRODUÇÃO

A qualidade da água em rios apresenta variações espaço-temporais significativas e dinâmicas dos parâmetros físicos — sólidos suspensos, turbidez, sólidos totais, etc. —, químicos — pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), etc. — e

biológicos — coliformes termotolerantes (CT), *Escherichia coli* e clorofila-a. Desse modo, essas variações apresentam tal comportamento porque são dependentes de fatores ecológicos, especialmente da tipologia vegetal, tipo de solo e características climáticas (CUNHA, 2013).

¹Mestre em Biodiversidade Tropical pela Universidade Federal do Amapá (UNIFAP). Professor da Universidade Estadual do Amapá (UEAP) - Macapá (AP), Brasil.

²Doutor em Engenharia Civil-hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP). Professor da UNIFAP - Macapá (AP), Brasil.

Endereço para correspondência: Carlos Henrique Medeiros de Abreu - Rodovia Juscelino Kubitschek, 4.440 - Universidade - 68903-419 - Macapá (AP), Brasil - E-mail: chmabreu@gmail.com

Recebido: 14/01/15 - **Aceito:** 18/04/16 - **Reg. ABES:** 144803

Destacam-se os fatores dependentes do ciclo hidrológico (vaporização, condensação e precipitação), área e fisiografia da bacia de drenagem, relevo, geologia, formação de águas subterrâneas e especialmente a cobertura vegetal (TUCCI, 1993; VELZ, 1984) influenciando os processos de trocas e as interações biogeoquímicas terra-água (WARD *et al.*, 2013).

Portanto, tais interações podem causar variações dos níveis de concentração de nutrientes e, caso ocorra o despejo excessivo de substâncias contendo nitrogênio e fósforo na água, em geral, também podem influenciar significativamente o equilíbrio do ecossistema, como mudanças no valor do índice de estado trófico (IET) (AFFONSO; BARBOSA; NOVO, 2011).

O IET permite estimar problemas que podem reduzir a qualidade da água para diversos usos, como:

- quantidade, que pode favorecer o crescimento de plantas aquáticas flutuantes que clarificam a água, mudando sua condição natural;
- química, onde o crescimento de plantas pode influenciar o sistema químico da água, notadamente OD e CO₂, prejudicando organismos aquáticos;
- biológica, onde a eutrofização pode alterar a composição das espécies de um ecossistema (TCHOBANOGLIOUS & SCHROEDER, 1985).

Esta pesquisa testou estatisticamente a variação espaço-temporal da qualidade da água, utilizando a distância entre sítios amostrais num trecho de 80 km do Baixo Rio Jari, Amapá, e seus respectivos parâmetros de qualidade da água, com destaque ao IET. Esse trecho encontra-se relativamente próximo da confluência com o Rio Amazonas, o qual sofre influência de marés semidiurnas. Além dos componentes puramente hidrológicos, foram testadas estatisticamente as influências do uso e ocupação desordenadas do solo, tais como processos urbanos, industrialização e construção de barragem, já que apresentam relevância nos estudos de impactos ambientais e conservação da biodiversidade nessa bacia hidrográfica.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Jari, localizada ao norte do Brasil, encontra-se entre a fronteira dos estados do Amapá e Pará (Figura 1), com área aproximada de 57 mil km². Seus principais tributários são os rios Curap, Colari, Cuc, Mapari, Noucouru, Iratapuru, Ipitinga e Carecuru, além do igarapé Caracaru (HYDROS ENGENHARIA, 2010; OLIVEIRA & CUNHA, 2014).

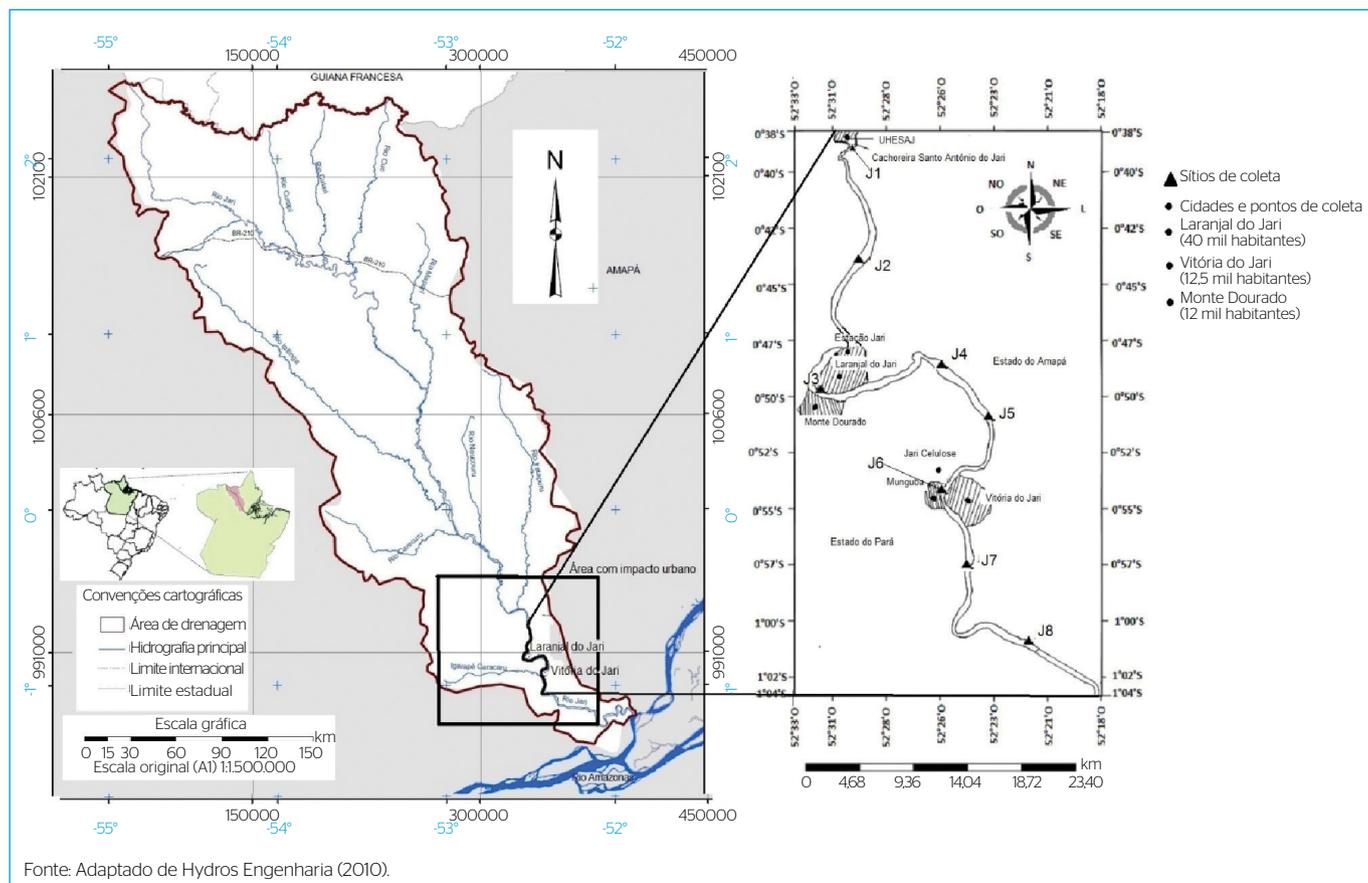


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Jari. No destaque o seu baixo curso com zoom dos trechos entre os sítios de amostragem (J₁ a J₈), além das localizações das principais cidades e Usina Hidrelétrica Santo Antônio do Jari próxima à cachoeira de Santo Antônio.

O Rio Jari possui aproximadamente 800 km de extensão e o trecho navegável limita-se à localidade denominada Munguba, próxima a Vitória do Jari, onde se situa o porto flúvio-marítimo do empreendimento Jari Celulose, no estado do Amapá. À montante desse trecho, o rio é utilizado basicamente pela população local para as atividades de extrativismo, não havendo vias de acesso terrestres para a porção do Alto e Médio Jari (detalhe da Figura 1) (OLIVEIRA & CUNHA, 2014).

No Rio Jari, a influência antrópica é observada de forma mais acentuada na região sul, onde ocorrem impactos ambientais como despejo de efluentes industriais e urbanos, além da presença da barragem da Usina Hidrelétrica Santo Antônio do Jari (UHESAJ). A população da cidade de Laranjal do Jari, Amapá, é de aproximadamente 40 mil habitantes, e as demais cidades localizadas nessa bacia são: Vitória do Jari, Amapá, com 12,5 mil habitantes, e Monte Dourado, Pará, com 34 mil habitantes (IBGE, 2010). Dentre essas, apenas Monte Dourado dispõe de sistemas de tratamento de esgotos (OLIVEIRA & CUNHA, 2014).

O clima da bacia hidrográfica é tropical úmido (Am), influenciado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), El Niño e presença de ventos alísios que transportam umidade do Oceano Atlântico, além de elevada taxa de evapotranspiração devido à presença da floresta Amazônica, que contribui com a precipitação localizada (LUCAS; BARRETO; CUNHA, 2010; SANTOS; CUNHA; CUNHA, 2014).

A média anual de precipitação varia entre 1.850 e 2.550 mm e os meses mais chuvosos são março, abril e maio, nos quais o total precipitado alcança 41,6% do acumulado anual. Os meses de setembro, outubro e novembro apresentam menor média de precipitação, correspondendo a 7,4% do total precipitado (SILVEIRA, 2014; GOMES SOBRINHO *et al.*, 2012).

Neste estudo foram consideradas as médias da precipitação como forçantes da vazão (descarga líquida medidas — hidrologia), conforme sugeridas por Freitas e Bielenki Jr (2011), os quais observaram comportamento similar, segundo o padrão esperado da precipitação e vazão medidas na seção de São Francisco (código 19150000). A média histórica de precipitação varia entre 1.434 e 3.082 mm.

Monitoramento da qualidade da água em 80 km de extensão

Conforme indicado pelo destaque da Figura 1, foram selecionados 8 sítios amostrais no trecho de 80 km no Rio Jari, entre a Cachoeira Santo Antônio do Jari (próxima da barragem UHESAJ) e a região posterior à cidade de Vitória do Jari (Figura 1), zona com influência do Rio Amazonas. As distâncias entre os sítios amostrais foram determinadas com base em estudos similares realizados no Rio Araguari (BÁRBARA *et al.*, 2010; BRITO, 2008). Para grandes rios, distâncias de aproximadamente 10 km já permitem a detecção das variações espaciais dos parâmetros de qualidade da água. No presente caso, inicialmente foram determinadas distâncias próximas de 10 km (J_1, J_2, J_3

e 8 km (J_4, J_5, J_6, J_7, J_8) para os sítios mais próximos de fontes potenciais de poluição.

As quatro campanhas amostrais sazonais ocorreram em setembro e dezembro de 2013, março e junho de 2014, com intervalos temporais entre períodos delineados para testar estatisticamente as variações sazonais da qualidade da água (ciclo hidrológico da bacia) (FREITAS & BIELENKI JR, 2011; LUCAS; BARRETO; CUNHA, 2010; OLIVEIRA & CUNHA, 2014; SILVEIRA, 2014).

Os parâmetros utilizados na presente análise foram: cor, turbidez, sólidos suspensos totais (SST), total de sólidos dissolvidos (TSD), temperatura da água, condutividade elétrica (parâmetros físicos); OD, DBO, nitrato (NO_3^-), amônia (NH_3), pH, fósforo total, magnésio, cálcio, sulfato, cloreto (parâmetros químicos); e CT, *Escherichia coli* e clorofila-a (parâmetros microbiológicos). Os resultados das análises desses parâmetros foram comparados com os estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, com a classificação de corpos d'água tipo II (BRASIL, 2005).

Os métodos de análise utilizados seguiram o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Métodos de Padrões para Análises da Água e Esgoto) da *American Public Health Association* (APHA, 2005). A presença de CT e *E. coli* foi observada pelo método Colilert, o qual quantifica o número mais provável (NMP) de microrganismos específicos em uma amostra de 100 mL, cuja quantificação estatística utilizada foi a tabela de probabilidade com limite de confiança de 95% (IDEXX, 2002).

A clorofila-a foi coletada no campo em amostras de 300 mL de água armazenadas em cuba térmica com gelo. Em laboratório, esse conteúdo foi filtrado com filtro de fibra de vidro com diâmetro de 0,45 μm . Os filtros com o conteúdo de clorofila foram inseridos em tubos de ensaio contendo 10 mL de acetona a 90% para extração do pigmento, e envolvidos em papel alumínio por um período de 24 horas. O material extrativo foi centrifugado a 4.500 rpm, retirando-se o sobrenadante para análise espectrofotométrica. A absorbância foi determinada nos comprimentos de onda 630, 645, 665 e 750 nm, conforme a metodologia proposta por Parsons e Strickland (1963).

O IET foi determinado de acordo com os procedimentos citados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2014) e calculado pela Equação 1, segundo Lamparelli (2004).

$$IET(PT) = 10 \left(6 - \left(\frac{0,42 - 0,36(\ln PT)}{\ln 2} \right) \right) - 20 \quad (1)$$

A Equação 1 utiliza, como variável independente, a concentração de fósforo total (PT) dado em ($\mu\text{g.L}^{-1}$). Esse elemento pode ser considerado o principal agente causador de eutrofização nos ambientes aquáticos, operando como um indicador potencial de ameaça aos ecossistemas

(VON SPERLING, 1995). A escala de avaliação do IET pode ser representada por faixas de classificação, segundo a descrição da Tabela 1.

Métodos estatísticos multivariados

Devido à não normalidade das variáveis (teste de Shapiro-Wilk), o teste de correlação de Spearman foi utilizado para correlacionar os parâmetros com a média de precipitação mensal. Para testar diferenças significativas entre as respectivas distribuições dos 20 parâmetros de qualidade da água *versus* a média de precipitação observada no respectivo mês de coleta, foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, que realiza múltiplas comparações entre as frequências espaço-sazonais desses parâmetros ao nível significância $p < 0,05$ (R CORE TEAM, 2014).

Nos casos em que o teste de Kruskal-Wallis apresentou resultados significativos para a variação espacial ou temporal, avaliou-se a semelhança dos resultados entre sítios amostrais, utilizando análise de agrupamento hierárquico (AAH) com distância euclidiana e/ou Ward. Em todos os métodos aplicou-se software estatístico “R” (R CORE TEAM, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variação espacial dos parâmetros

Com exceção do OD, o teste Kruskal-Wallis não apresentou variação espacial significativa ($p < 0,05$) em 19 parâmetros. Assim, em relação ao OD e em termos espaciais, com a aplicação da AAH, verifica-se no dendrograma (Figura 2) que duas seções de monitoramento se destacam espacialmente (ramos do gráfico), J_1 e J_8 , afastando-se dos seus respectivos grupos (Grupo 1 e Grupo 2).

Detalhando a AAH, os sítios do Grupo 1 (mais à montante), localizados próximo à UHESAJ, tendem a apresentar maior concentração de OD em relação ao Grupo 2 (mais à jusante). Atribui-se a essa variação a influência de quedas d'água após a UHESAJ, cujas condições físicas são favorecidas pela intensa reaeração, o que não ocorre

nos demais sítios amostrais à jusante (em direção ao Rio Amazonas), onde o fluxo turbulento é menos intenso e o escoamento do rio é mais lântico (SHRIVASTAVA; SWAROOP; JAIN, 2000), devido à aproximação de sua foz no Rio Amazonas. A análise indica que a única variação espacial significativa ($p < 0,05$) foi para o OD, dentre os 20 parâmetros da qualidade da água utilizados.

Análise de correlação entre parâmetros físicos versus precipitação

Após elaboração de uma matriz de correlação de Spearman, foram escolhidos os parâmetros cujos testes apresentaram significância confirmadas ($p < 0,05$). As variações sazonais de cada um dos parâmetros são mostradas na Figura 3.

Os resultados na Figura 3A indicam que o parâmetro cor variou significativamente em relação a cada período de coleta, sugerindo uma correlação positiva ($r = 50\%$; $p < 0,05$) com a precipitação. O limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para esse parâmetro, para rios de classe II, é de 75 mg Pt.L⁻¹. No entanto, durante a estiagem, esses valores variaram entre 35 mg Pt.L⁻¹ (dezembro de 2013) e 83 mg Pt.L⁻¹ (setembro de 2013). E, durante o período chuvoso, entre 73 mg Pt.L⁻¹ (março de 2014) e 165 mg Pt.L⁻¹ (junho de 2014).

A não conformidade desse parâmetro pode estar associada tanto a influências naturais quanto a despejos de matéria orgânica de origem sanitária e/ou florestal (BOYD, 2000). Seu valor elevado é indesejável ao consumo humano e, ecologicamente, impede a penetração de luz na coluna d'água, dificultando a busca por alimento para determinadas espécies de peixes (OLIVEIRA, 2012; BRITO, 2008).

Tabela 1 - Índice de estado trófico para ambientes lóticos.

Categoria (estado trófico)	Ponderação
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$IET > 67$

IET: índice de estado trófico.
Fonte: Lamparelli (2004).

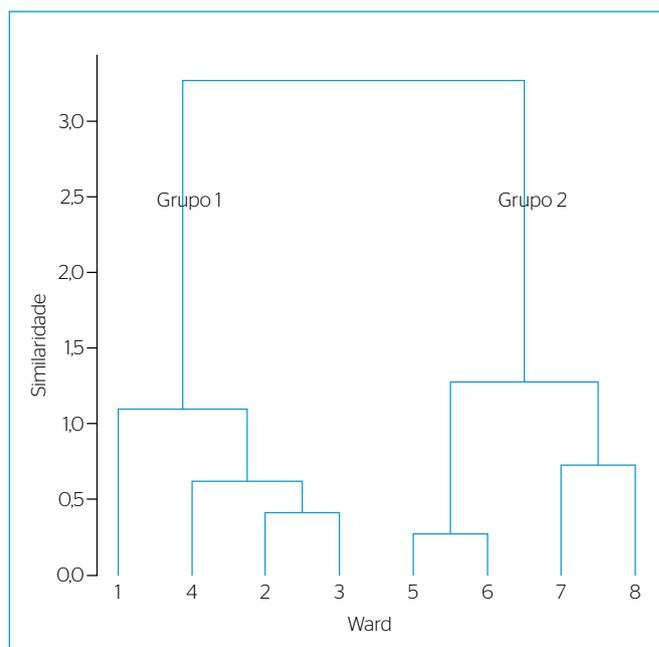


Figura 2 - Dendrograma indicando a divisão entre dois grupos de pontos de coleta para o oxigênio dissolvido.

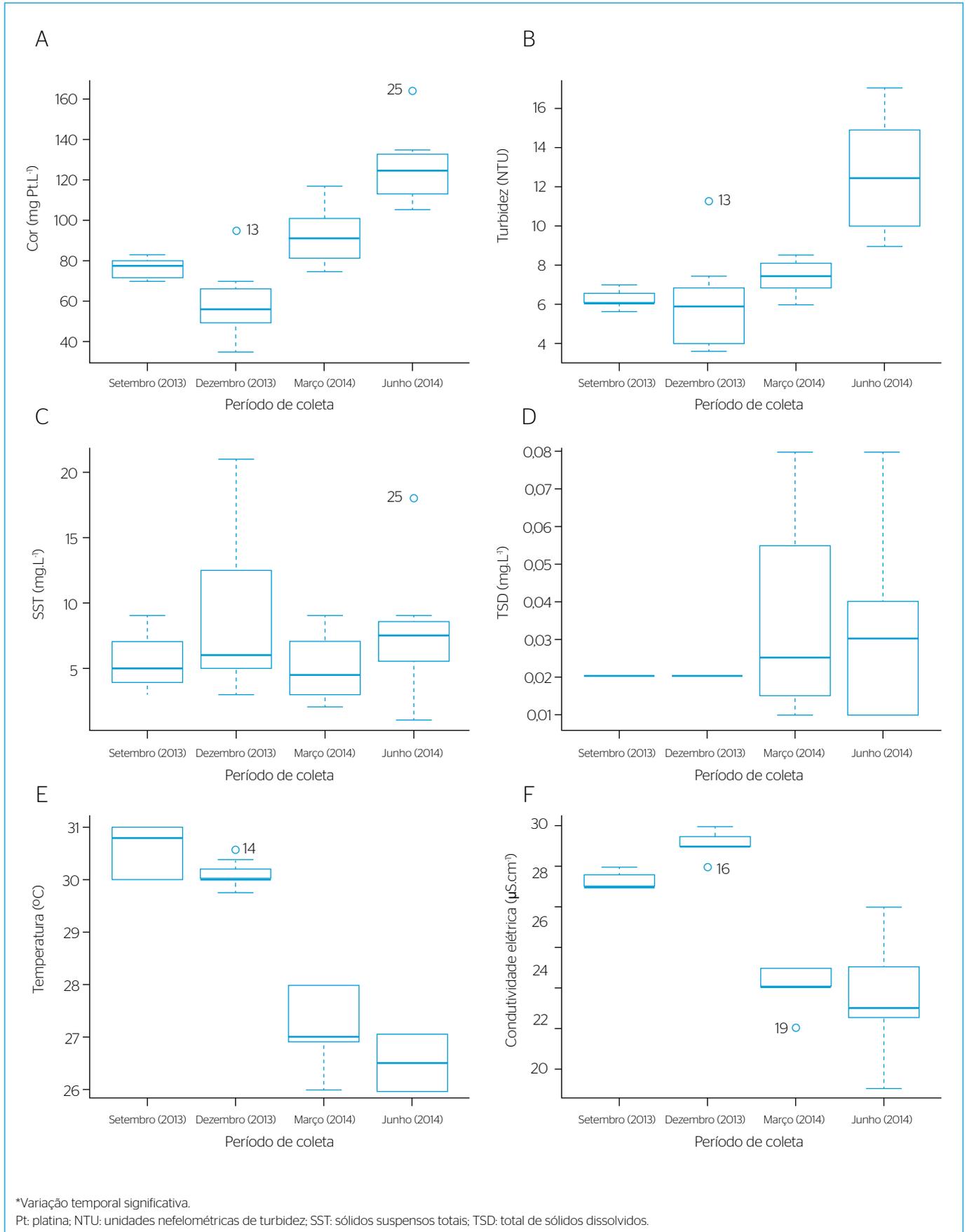


Figura 3 - Testes comparativos entre os parâmetros físicos em função dos períodos sazonais. Cor (A); turbidez (B); sólidos suspensos totais (C); total de sólidos dissolvidos (D); temperatura (E); condutividade elétrica (F).

O parâmetro turbidez (Figura 3B) apresentou variabilidade sazonal, com correlação positiva ($r=49\%$; $p<0,05$), com a precipitação variando no período de estiagem entre 4,53 e 11,53 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) no mês de dezembro, e entre 5,65 e 7,01 NTU no mês de setembro. No período chuvoso, os valores variaram de 6,0 NTU (março de 2014) a 17 NTU (junho de 2014).

Elevados valores para turbidez são associados a potenciais alterações da dinâmica hidrossedimentométrica, como consequência da erosão, relacionada às atividades humanas ou não (LUÍZ; PINTO; SCHEFFER, 2012; SANTOS & CUNHA, 2015). Seu aumento pode reduzir as taxas de fotossíntese e prejudicar a busca por alimento de algumas espécies, podendo causar desequilíbrio na cadeia alimentar (BRITO, 2008; CUNHA; CUNHA; PINHEIRO, 2013; OLIVEIRA, 2012; SANTOS; CUNHA; CUNHA, 2014).

A variação sazonal do parâmetro SST (Figura 3C) apresentou resultado não significativo e nenhuma correlação com a precipitação ($p>0,05$), com o valor mais elevado (21 mg.L⁻¹) no período de estiagem (dezembro de 2013), e o menor (2,2 mg.L⁻¹) no período chuvoso (março de 2014). De modo análogo, os resultados estatísticos para o parâmetro TSD não foram significativos ($p>0,05$), não apresentando correlação com a precipitação. Os valores encontrados variaram entre 0,017 mg.L⁻¹ (dezembro de 2013) e 0,035 mg.L⁻¹ (março de 2014) (Figura 3D).

A temperatura da água (Figura 3E) apresentou variação sazonal significativa e correlação negativa ($r=-80\%$; $p<0,05$) em relação à precipitação, provavelmente devido ao aumento da nebulosidade nesse período (NEVES *et al.*, 2011). Respectivamente, o maior e o menor valor encontrados foram 30,6°C no mês de setembro de 2013 e 26,3°C no mês de junho de 2014.

Também foi observada variação sazonal da condutividade elétrica da água, considerada como estatisticamente significativa (Figura 3F) e correlação negativa ($r=-66\%$; $p<0,05$) com a precipitação. A variação desse parâmetro foi de 22 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (março de 2014) a 28 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (junho de 2014), no período chuvoso, e no período de estiagem, entre 29 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (setembro de 2013) e 32 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (dezembro de 2013).

A condutividade elétrica da água está associada à concentração dos TSD encontrados na água (TEBBUTT, 2002), mas, neste estudo, esse parâmetro apresentou baixos valores de concentração nas águas do Rio Jari.

Análise de correlação dos parâmetros químicos versus precipitação

De acordo com os limites exigidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, os valores do OD neste estudo mantiveram-se próximos dos ideais (acima de 5,0 mg.L⁻¹). Os resultados mostraram variação entre 5,24 mg.L⁻¹ no mês de setembro de 2013 e 7,68 mg.L⁻¹ no mês de março de 2014 (Figura 4A). Não foi possível observar uma variação temporal estatisticamente significativa ao longo dos meses

de coleta. Contudo, foi observada correlação positiva ($r=40\%$; $p<0,05$) com a precipitação.

Valores satisfatórios de OD indicam eficiente capacidade de aeração do Rio Jari, sem descartar potenciais contribuições fotossintéticas de algas. Nesse caso, portanto, é relevante a capacidade de suporte aeróbico de manutenção da vida aquática superior pelas condições hidrodinâmicas favoráveis pela ação da turbulência das águas (CUNHA *et al.*, 2011; SHRIVASTAVA; SWAROOP; JAIN, 2000). No presente caso, é possível supor que o principal contribuinte das variações espaciais de OD são as próprias características hidráulicas do Rio Jari, com trechos de quedas d'água e vazão elevada (em média 1200 m³.s⁻¹) e forte correnteza. O Rio Jari apresenta elevada capacidade de aeração, pois trata-se de corpo d'água com potencial hidrelétrico, semelhantemente ao Rio Araguari (bacia contígua), como descrevem Bárbara *et al.* (2010), Brito (2008) e Cunha *et al.* (2011).

Para o parâmetro cloreto foi possível observar uma correlação positiva ($r=45\%$; $p<0,05$) (Figura 4B) em relação à precipitação. Foram observados elevados valores no mês de junho de 2014, variando entre 1,0 mg.L⁻¹ no sítio J₈ e 18 mg.L⁻¹ no sítio J₁. Esse elevado valor, em relação à média, pode estar associado à interação do corpo hídrico no ponto J₈ com resíduos minerais oriundos ou utilizados na construção da UHESAJ, ou mesmo despejos de esgotos ou águas residuais agrícolas/silvícolas difusas lixiviadas do solo para o rio, principalmente induzidos pela ação da precipitação.

Mesmo com reduzida variação do parâmetro NH₃ ao longo do período de coleta, foi possível observar variação temporal significativa e correlação positiva com a precipitação ($r=44\%$; $p<0,05$). Os valores de concentração de NH₃ encontrados no Rio Jari estavam abaixo dos limites de 3,7 mg.L⁻¹ estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, tendo sua maior média (0,90 mg.L⁻¹) no mês de dezembro de 2013 (Figura 4C). Com exceção do mês de dezembro de 2013 (0,90 mg.L⁻¹), todos os períodos de coleta apresentaram média entre 0,240 e 0,376 mg.L⁻¹, indicando baixo nível de poluição por esse parâmetro, isto é, reduzida restrição a determinadas espécies de peixe (TEBBUTT, 2002) naquele trecho de rio.

O valor da concentração de magnésio (Figura 4D) variou de 2,41 a 3,01 mg.L⁻¹ entre os meses de junho de 2014 e setembro de 2013 e apresentou correlação negativa ($r=-50\%$; $p<0,05$) em relação à precipitação. Esse parâmetro é importante, pois atua na formação da molécula de clorofila (ESTEVES, 2011), e juntamente com o cálcio determina a dureza da água, que é um indicador relacionado à potabilidade da água (GUPTA, 2010).

A concentração de cálcio (Figura 4E) variou em relação aos períodos sazonais. Contudo, não foi possível identificar uma correlação significativa com a precipitação ($p>0,05$). Em março de 2014 foi observado o maior valor médio entre os meses de coleta, aproximadamente 1,51 mg.L⁻¹.

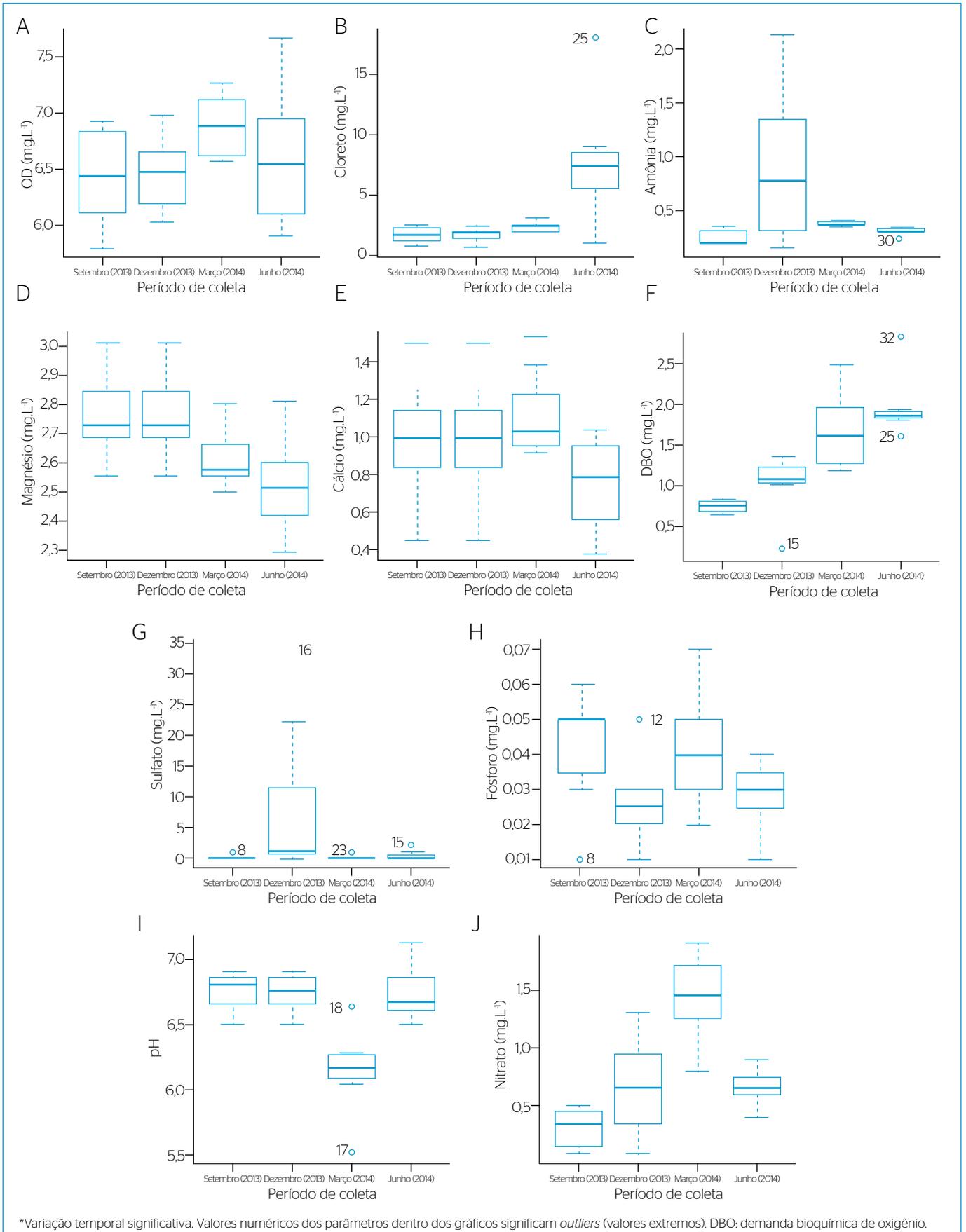


Figura 4 - Variação sazonal da mediana dos parâmetros químicos com um desvio padrão. Oxigênio dissolvido (A); cloreto (B); amônia (C); magnésio (D); cálcio (E); demanda bioquímica de oxigênio (F); sulfato (G); fósforo (H); pH (I); nitrito (J).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008 (BRASIL, 2008), o limite de dureza para a água potável (Ca e Mg) deve ser de 500 mg.L⁻¹. Neste estudo, o somatório dos cátions Ca e Mg apresentaram valores abaixo de 50 mg.L⁻¹, indicando que a água se apresenta com boa qualidade para uso e consumo humano.

Em relação ao parâmetro DBO₅ (Figura 4F), as concentrações foram inferiores aos limites exigidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe II. Além disso, a variação entre os períodos de coleta foi estatisticamente significativa, obtendo-se valores entre 0,23 mg.L⁻¹ (setembro de 2013) e 2,84 mg.L⁻¹ (março de 2014). Não obstante, observou-se correlação positiva elevada ($r=78\%$; $p<0,05$) entre esse parâmetro e a média de precipitação, convergindo com a hipótese de que ocorre maior aporte de nutrientes do solo para a água no período chuvoso (WARD *et al.*, 2013). Esse valor sugere que no trecho estudado, apesar da potencial carga de matéria orgânica (pontuais e difusas), incluindo as fontes de esgoto despejadas sem tratamento no Rio Jari, existe uma elevada capacidade de autodepuração (diluição de poluentes), associada a elevadas taxas de degradação da matéria orgânica e a condições físicas favoráveis de turbulência que promovem o processo de reaeração atmosférica mais eficiente no corpo d'água. Esses fatores conjuntamente induzem a um baixo nível do impacto no déficit de OD no referido trecho.

As concentrações de sulfato (Figura 4G) variaram sazonalmente, mas não apresentaram uma correlação significativa com a precipitação ($p>0,05$). No entanto, durante as campanhas, os valores mais elevados foram observados no mês de dezembro de 2013, exatamente nos pontos J₇ e J₈, respectivamente, 24 e 34 mg.L⁻¹. Esses valores, em relação aos outros resultados, podem estar associados aos despejos de substâncias químicas oriundas de atividades industriais próximas aos dois sítios de coleta — indústrias de caulim (CADAM) e celulose (FACEL). O íon sulfato pode ser prejudicial à saúde humana, mas também pode acidificar a água, provocando diarreia quando os valores estão acima de 100 mg.L⁻¹ (LETTERMAN, 1999).

Na Figura 4G registrou-se um valor próximo de 35 mg.L⁻¹, sugerindo lançamento pontual significativo desse íon no corpo d'água. Contudo, o volume e a vazão do Rio Jari podem ter contribuído para a redução de potenciais impactos mais significativos. Portanto, esse parâmetro deve ser sistematicamente monitorado futuramente nesse trecho, pois representa potencial risco à qualidade da água em função de sua amplitude e aproximação com os valores legais máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, mesmo sendo esse um caso único, "aleatório" e oscilante durante o período de estudo.

Contudo, os resultados observados para o fósforo (Figura 4H) mostraram-se abaixo dos limites exigidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (0,10 mg.L⁻¹), mas apresentando variação temporal estatisticamente significativa ($p<0,05$). A maior média ocorreu em setembro de 2013 (0,04 mg.L⁻¹). Entretanto, o fósforo não apresentou correlação significativa com a precipitação ($p>0,05$), apesar de se observar citado padrão "aleatório" e oscilante de variação sazonal da mediana (Figura 4H).

O pH (Figura 5I) não variou significativamente ao longo do período de estudo, mas foi observada correlação negativa ($r=-59\%$) com a média de precipitação ($p<0,05$). Com exceção do valor 5,5, registrado no ponto J₁ no mês de março de 2014, todos os demais apresentaram valores acima de 6,0 e abaixo de 7,5, mostrando que o Rio Jari apresenta características levemente ácidas, características dos rios tropicais amazônicos. Para níveis hidrobiológicos e formação de ecossistemas aquáticos diversificados, os resultados encontrados no trecho em estudo são satisfatórios, pois os critérios estabelecidos para o desenvolvimento adequado de vida aquática encontravam-se, em sua maioria, entre 6 e 9 (VIGIL, 2003).

O NO₃⁻ (Figura 4J) é um parâmetro indicador de depósitos naturais ou de poluição remota ou mais antiga, pois é o produto final de substâncias nitrogenadas decorrentes da oxidação da NH₃ a NO₃⁻, tendo como estágio intermediário o NO₂⁻. As principais fontes de contaminação por NO₃⁻ podem ser de depósitos naturais ou pelo uso e descarte de fertilizantes (LETTERMAN, 1999). De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, o limite máximo permitido é de 10 mg.L⁻¹. As concentrações de NO₃⁻ encontradas no Rio Jari variaram de 0,10 a 1,9 mg.L⁻¹ no período de setembro de 2013 a junho de 2014, e não apresentaram variação temporal significativa ($p>0,05$).

Análise de correlação de parâmetros microbiológicos versus precipitação

A Figura 5 apresenta os resultados encontrados para as análises microbiológicas (*E. coli*, CT e clorofila) observados no Rio Jari, nos respectivos sítios de coleta, entre setembro de 2013 e junho de 2014. A análise dos resultados é baseada nos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Em relação às concentrações de *E. coli* (Figura 5A), a Resolução CONAMA nº 357/2005 limita a sua concentração a 0 para cada 100 mL de água destinada ao consumo humano. Na presente pesquisa, todos os resultados apresentaram valores acima do recomendado em todos os períodos e pontos de coleta (Figura 5A). Observou-se, contudo, correlação positiva ($r=57\%$; $p<0,05$) em relação à precipitação, tendo o seu aumento principalmente no mês de março de 2014. A maior média registrada foi encontrada no ponto J₇ (47 NMP.100 mL⁻¹), localizado próximo à cidade de Vitória do Jari. A presença desse patógeno pode ser potencialmente perigosa para a saúde humana, quando ingerido ou encontrado na preparação de alimentos (OSBILD & VASSEUR, 2008).

Por outro lado, os resultados mostraram que os valores dos CT (Figura 5B) também estão acima do limite permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (máxima de 1.000 coliformes.100 mL⁻¹ de água para consumo humano) em mais de 75% das amostras. Além disso, observa-se na Figura 5B que a média de valores de CT foi maior no mês de março de 2014 (maior precipitação), mostrando a existência de correlação positiva ($r=42\%$; $p<0,05$) desse parâmetro com a precipitação. Assim, elevados valores de CT podem indicar existência de despejo de esgotos

sem tratamento ou elevadas taxas de lixiviação de matéria orgânica difusa de origem florestal.

O aumento dos níveis de microrganismos patogênicos durante o período chuvoso apresenta maior risco devido à contribuição da notória ausência de infraestrutura e serviços sanitários por parte do poder público nesses locais (OLIVEIRA & CUNHA, 2015). Na região do Rio Jari, esses fatores vêm sendo negligenciados pelo poder público como uma informação básica de planejamento, o que exige novas posturas de gestão, em que pese a participação popular e com maior controle

social do problema (SILVEIRA, 2014). Um aspecto importante a considerar é a possibilidade da mistura de águas residuais com águas pluviais, o que tende a impactar severamente na qualidade das águas superficiais receptoras, modificando sua função ecológica e elevando as concentrações de poluentes minerais, orgânicos e microbiológicos que impactam a saúde pública (MADOUX-HUMERY *et al.*, 2013).

A concentração de clorofila-a proporciona uma estimativa da biomassa fitoplanctônica. Em caso de uma população biológica encontrar-se em declínio, pode ser decorrente da redução de clorofila-a. Além

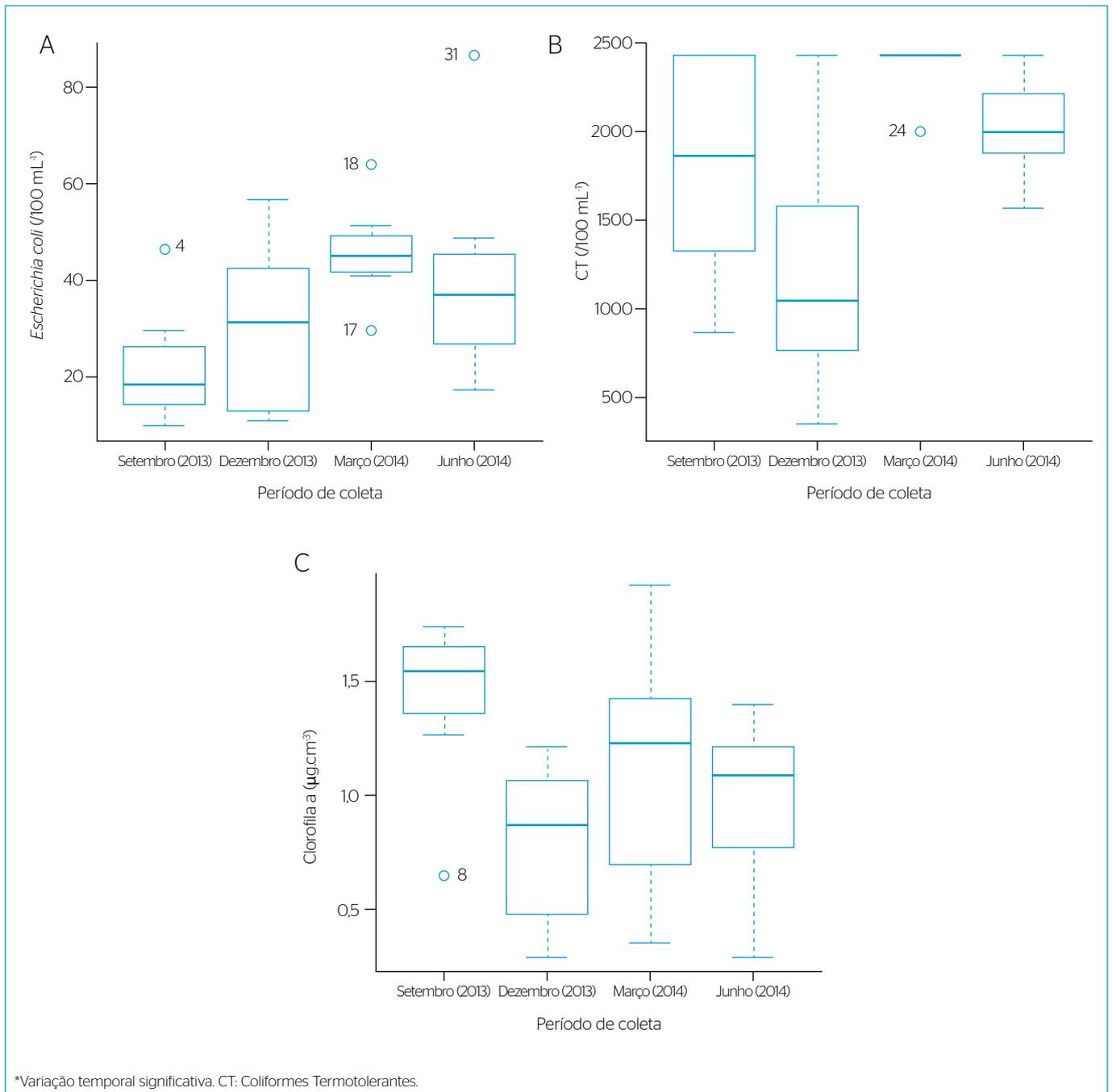


Figura 5 - Variação dos parâmetros biológicos em função dos períodos de coleta. *Escherichia coli* (A); coliformes termotolerantes (B); clorofila-a (C).

disso, as concentrações de clorofila-a podem ser alteradas por variações de pH, ou alta incidência luminosa ou temperatura, entre outros fatores (GOLTERMAN; CLYMO; OHNSTAD, 1978). O resultado encontrado, no trecho estudado do Rio Jari, mostrou que a concentração da clorofila-a (Figura 5C) encontra-se em níveis aceitáveis, com média variando entre 1,04 mg.L⁻¹ (junho de 2014) a 1,44 mg.L⁻¹ (setembro de 2013). Esse parâmetro microbiológico apresentou significância estatística ($p < 0,05$) para os diferentes períodos sazonais. Contudo, não foi possível correlacionar essa variação com a precipitação ($p > 0,05$).

Índice de estado trófico com base na concentração de fósforo total

Os valores de IET mostrados na Tabela 2 apresentam, em geral, resultados que sugerem médio nível de eutrofização do trecho estudado em 80 km do Rio Jari. Portanto, observa-se variação entre os estados oligotrófico, mesotrófico e ultraoligotrófico, indicando que o corpo hídrico apresenta baixas concentrações de nutrientes, baixa produtividade primária e produtividade intermediária. Desse modo, apresenta baixo potencial ou capacidade de causar impactos à qualidade da água e biota aquática no trecho, isto é, ainda encontra-se em níveis toleráveis ou aceitáveis de eutrofização (CHAPRA, 1997; LAMPARELLI, 2004).

Uma análise superficial da Tabela 2 mostra apenas uma sensível variação espaço-temporal do IET no trecho, mas estatisticamente não significativa ($p > 0,05$). Entretanto, destaca-se que o perfil das variações espaciais são exclusivas para cada seção de monitoramento, sendo mais perceptíveis nos pontos J₄ e J₅, justamente próximos dos sítios mais urbanizados ou industrializados (Laranjal do Jari, Vitória do Jari e Monte Dourado). No entanto, os valores da Equação 1 (LAMPARELLI, 2004) são estimados na forma logarítmica, o que decorre na “suavização” da variação dos valores de IET. Desse modo, o modelo não é suficientemente capaz de provocar influências significativas no IET, de modo que os testes estatísticos mantiveram a hipótese de que não há variação espaço-temporal desse parâmetro.

CONCLUSÃO

A presente investigação mostrou que a variação espaço-temporal de 20 parâmetros da qualidade da água do Rio Jari, Amapá, apresenta dominância da influência sazonal em detrimento da influência espacial,

quando observada no trecho de 80 km do rio. Com base nestas premissas, temos a seguir as principais conclusões.

Com exceção do OD, não houve variação espacial dos parâmetros de qualidade da água. Em relação ao OD, a AAH sugeriu a existência de dois grupos formados devido à forte influência da turbulência provocada pela queda d'água na Cachoeira de Santo Antônio do Jari sobre esse parâmetro (Grupo 1). Com o distanciamento dessa zona de turbulência ocorre a redução da reaeração da água, dividindo espacialmente o trecho em dois grupos amostrais.

A variação temporal dos parâmetros foi significativa (cor, turbidez, condutividade elétrica da água, DBO, amônia, fósforo, pH, sulfato, magnésio, cloreto, CT, *E. coli* e clorofila-a), indicando forte influência do ciclo hidrológico em comparação às influências dos prováveis impactos ambientais urbanos, industriais ou hidrelétrico.

Foram encontrados valores relativamente elevados de *E. coli* (normalmente relacionados ao despejo de esgotos sanitários), e aumento da concentração de sulfato em áreas à jusante das indústrias CADAM e FACEL. No primeiro caso, esses valores podem decorrer do potencial impacto urbano e de indústria de celulose. No primeiro caso, pode ser consequência do lançamento de esgotos *in natura* e poluição difusa causada pela exploração florestal em zonas próximas do rio (ciclo hidrológico). No segundo caso, esses valores podem decorrer do potencial impacto urbano e de indústria de celulose.

Houve correlação (*Spearman*) de vários parâmetros da qualidade da água (cor, turbidez, temperatura, OD, cloreto, NH₃, magnésio, DBO, sulfato, pH, *E. coli*, CT e clorofila-a) com os parâmetros hidrológicos/precipitação, sugerindo forte dependência da variação desses com o ciclo hidrológico ou período sazonal (vazão/precipitação). Entretanto, não foi observado comportamento similar em relação a OD, TDS e SO₄.

Finalmente, os valores do IET indicaram que o trecho em estudo apresenta características variantes: tanto espacial quanto sazonalmente. Isto é, apresenta-se dinamicamente, variando desde estágios ultraoligotróficos, até mesotróficos e oligotróficos. Esse fato sugere que a principal hipótese da pesquisa foi confirmada. Isto é, as águas estão em uma fase de baixo ou intermediário nível trófico. Com efeito, essa informação torna-se fundamental para subsidiar o planejamento, a gestão e as tomadas de decisão concernentes à conservação da biodiversidade aquática nesse trecho do Rio Jari, sob fortes impactos antrópicos na bacia, tais como os urbanos, industriais e hidrelétricos.

Tabela 2 - Índice de estado trófico calculado em função do fósforo total (mg.L⁻¹).

Período/Pontos	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇	J ₈
Setembro de 2013	54■	53■	54■	54■	54■	52▲	53■	46▲
Dezembro de 2013	49▲	48▲	39●	42●	50▲	51▲	45●	50▲
Março de 2014	52▲	49▲	51▲	52▲	53■	55●	42●	41●
Junho de 2014	49▲	50▲	51▲	53●	52▲	44●	50▲	39●

●: Ultraoligotrófico; ▲: oligotrófico; ■: mesotrófico.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, A.G.; BARBOSA, C.; NOVO, E.M.L.M. (2011) Water quality changes in floodplain lakes due to the Amazon River flood pulse: Lago Grande de Curuaí (Pará). *Brazilian Journal of Biology*, v. 71, n. 3, p. 601-610.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2014) Indicadores de qualidade: índice do estado trófico (IET). Disponível em <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>. Acesso em: 10 jun. 2014.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (2005) *Standard methods for examination of water and wastewater*. 21th ed. Washington: APHA.
- BÁRBARA, V.F.; CUNHA, A.C.; RODRIGUES, A.S.L.; SIQUEIRA, E.Q. (2010) Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. *Revista de Biociências*, v. 16, n. 1, p. 57-72.
- BOYD, C.E. (2000) Particulate matter, turbidity, and color. In: BOYD, C.E. *Water quality: an introduction*. United States: Springer. p. 95-103.
- BRASIL. (2005) Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.
- BRASIL. (2008) Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 abr. 2008. Seção 1, p. 64-68.
- BRITO, D.C. (2008) *Aplicação do sistema de modelagem da qualidade da água QUAL2KW em grandes rios: o caso do Alto e Médio Rio Araguari - AP*. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- CHAPRA, S.C. (1997) *Surface water-quality modelling*. Cambridge: McGraw-Hill. 843 p.
- CUNHA, A.C. (2013) Revisão descritiva sobre qualidade da água, parâmetros e modelagem de ecossistemas aquáticos tropicais. *Biota Amazônia*, v. 3, n. 1, p. 124-143.
- CUNHA, A.C.; CUNHA, H.F.A.; PINHEIRO, L.A.R. (2013) Modelagem e simulação do escoamento e dispersão sazonais de agentes passivos no Rio Araguari, AP: cenários para o AHE Ferreira Gomes I - Amapá/Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 1, p. 57-85.
- CUNHA, A.C.; BRITO, D.C.; CUNHA, H.F.A.; SCHULZ, H.E. (2011) Dam effect on stream reaeration evaluated with Qual2Kw model: case study of the Araguari River, Amazon Region, Amapá State/Brazil. In: BILLIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. *Sustainable water management in the tropics and subtropics: and case studies in Brazil*. Jaguarão: Fundação Universidade Federal do Pampa. p. 153-177.
- ESTEVES, F.A. (2011) *Fundamentos de Limnologia*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência.
- FREITAS, M.A.S. & BIELENKI JR, C. (2011) Geração de Série de Vazão Média Mensal para a Bacia Hidrográfica do Rio Jari (PA-AP). In: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Maceió: ABRH.
- GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. (1978) *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*. Handbook No. 8, 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 213 p.
- GOMES SOBRINHO, T.R.; QUINTAIROS, M.V.R.; GOMES, R.C.A.S.R.; SANTANA, E.J.M. (2012) Classificação climática conforme a metodologia Köppen do município de Laranjal do Jari/Amapá/Brasil. In: *VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 7 Anais...* Tocantins: CONNEPI. p. 70.
- GUPTA, S.K. (2010) *Modern hydrology and sustainable water development*. 1st ed. Oxford: Willey-Blackwell. 464 p.
- HYDROS ENGENHARIA. (2010) *Inventário hidroenergético da bacia hidrográfica do Rio Jari/PA-AP*. São Paulo: Empresa de Pesquisa Energética.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2010) *Cidades*. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso em: 12 jul. 2014.
- IDEXX. (2002) *Quanti-Tray/2000: insert and most probable number (MPN) table*. Westbrook: IDEXX. Disponível em: <<https://www.idexx.com/resource-library/water/quant-tray-2000-procedure-en.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2014.
- LAMPARELLI, M.C. (2004) *Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. 235 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LETTERMAN, R.D. (1999) *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. 5th ed. Denver: McGraw-Hill. 1231 p.
- LUCAS, E.W.N.; BARRETO, N.J.C.; CUNHA, A.C. (2010) Variabilidade hidrológica da Bacia do Rio Jari (AP): estudo de caso do ano 2000. In: CUNHA, A.C.; SOUZA, E.B.; CUNHA, H.F.A. *Tempo, clima e recursos hídricos: resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá*. Macapá: IEPA. p. 119-134.
- LUÍZ, Â.M.E.; PINTO, M.L.C.; SCHEFFER, E.W.O. (2012) Parâmetros de cor e turbidez como indicadores de impactos resultantes do uso do solo, na bacia hidrográfica do Rio Taquaral, São Mateus do Sul-PR. *RA 'E GA*, v. 24, p. 290-310.
- MADOUX-HUMERY, A.S.; DORNER, S.; SAUVÉ, S.; ABOULFADL, K.; GALARNEAU, M.; SERVAIS, P.; PRÉVOST, M. (2013) Temporal variability of combined sewer overflow contaminants: evaluation of wastewater micropollutants as tracers of fecal contamination. *Water Research*, v. 47, n. 13, p. 4370-4382.

- NEVES, D.G.; CUNHA, A.C.; SOUZA, E.B.; BARRETO, N.J.C. (2011) Modelagem climática regional durante dois anos extremos de precipitação sobre o estado do Amapá: teste de sensibilidade aos esquemas convectivos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 4, p. 569-578.
- OLIVEIRA, J.C.S. (2012) *Ecologia da ictiofauna e análise ecossistêmica das áreas de influência direta da HUE Coaracy Nunes, Ferreira Gomes - AP*. 234 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aquática e Pesca) – Universidade Federal do Pará, Belém.
- OLIVEIRA, B.S.S. & CUNHA, A.C. (2014) Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do estado do Amapá. *Revista Ambiente & Água*, v. 9, n. 2, p. 261-275.
- OLIVEIRA, A.M. & CUNHA, A.C. (2015) Análise de risco como medida preventiva de inundações na Amazônia: estudo de caso de enchente de 2000 em Laranjal do Jari-AP, Brasil. *Ciência e Natura*, v. 37, p. 110-118.
- OSBILD, D. & VASSEUR, P. (2008) Microbiological sensors for the monitoring of water quality. In: COLIN, F. (Ed.). *Monitoring of water quality: the contribution of advanced technologies*. The Netherlands: Elsevier. p. 37-49.
- PARSONS, T.R. & STRICKLAND, J.D.H. (1963) Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *Journal of Marine Research*, v. 21, p. 155-163.
- R CORE TEAM. (2014). R: a language and environment for statistical computing. Vienna: The R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 17 ago. 2014.
- SANTOS, E.S. & CUNHA, A.C. (2015) Análise de cenários hidrossedimentométricos para estimar taxas de assoreamento e vida útil do reservatório da UHE Cachoeira Caldeirão no Rio Araguari/AP-Brasil. *Biota Amazônia*, v. 5, n. 3, p. 88-97.
- SANTOS, E.S.; CUNHA, A.C.; CUNHA, E.D.S. (2014) Análise espaço-sazonal da qualidade da água na zona flúvio-marinha do Rio Araguari-Amazônia Oriental-Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 3, p. 81-95.
- SHRIVASTAVA, A.K.; SWAROOP, J.; JAIN, N. (2000) Effect of seed on BOD exertion. *Indian Journal of Environmental Health*, v. 42, n. 2, p. 75-78.
- SILVEIRA, J.S. (2014) *Aspectos hidrometeorológicos da bacia do Rio Jari no período de 1968 a 2012*. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- TCHOBANOGLIOUS, G. & SCHOEDER, E.D. (1985) *Water quality: characteristics, modeling, and modification*. 1st ed. New York: Addison-Wesley. 768 p.
- TEBBUTT, T. (2002) *Principles of water quality control*. 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. 279 p.
- TUCCI, C.E.M. (1993) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS. 943 p.
- VELZ, C.J. (1984) *Applied stream sanitation*. 2th ed. New York: John-Wiley & Sons. 799 p.
- VIGIL, K.M. (2003) *Clean water: an introduction to water quality and water pollution control*. Corvallis: Oregon State University Press. 181 p.
- VON SPERLING, M. (1995) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3^a ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG. 240 p.
- WARD, N.D.; KEIL, R.G.; MEDEIROS, P.M.; BRITO, D.C.; CUNHA, A.C.; DITTMAR, T.; YAGER, P.L.; KRUSCHE, A.V.; RICHEY, J.E. (2013) Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. *Nature Geoscience*, v. 6, p.530-533.