



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE TROPICAL
MESTRADO E DOUTORADO
UNIFAP/EMBRAPA-AP/IEPA/CI-BRASIL



**VARIAÇÕES ESPAÇO-SAZONAIS DA QUALIDADE DA ÁGUA E DA
HIDRODINÂMICA EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS SOB
IMPACTOS AMBIENTAIS NO BAIXO RIO JARI-AP**

CARLOS HENRIQUE MEDEIROS DE ABREU

MACAPÁ-AP
2015

CARLOS HENRIQUE MEDEIROS DE ABREU

**VARIAÇÕES ESPAÇO-SAZONAIS DA QUALIDADE DA ÁGUA E DA
HIDRODINÂMICA EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS SOB
IMPACTOS AMBIENTAIS NO BAIXO RIO JARI-AP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical – PPGBIO Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, como requisito à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

MACAPÁ – AP
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá

333.91
A162v

Abreu, Carlos Henrique Medeiros de.

Variações espaço-sazonais da qualidade da água e da hidrodinâmica em ecossistemas aquáticos sob impactos ambientais no Baixo Rio Jari-AP / Carlos Henrique Medeiros de Abreu; orientador, Alan Cavalcanti da Cunha. -- Macapá, 2015.
97 f.

Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical.

1. Água – Qualidade. 2. Recursos hídricos – Aspectos ambientais. 3. Ecossistemas aquáticos – Impacto ambiental. I. Cunha, Alan Cavalcanti da, (orient). II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CARLOS HENRIQUE MEDEIROS DE ABREU

**VARIAÇÕES ESPAÇO-SAZONAIS DA QUALIDADE DA ÁGUA E DA
HIDRODINÂMICA EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS SOB
IMPACTOS AMBIENTAIS NO BAIXO RIO JARI-AP.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical – PPG BIO Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, como requisito à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

AVALIADA em: 14/01/2015

Dr. Alan Cavalcanti da Cunha/UNIFAP

Dr. Admilson Moreira Torres/IEPA

Dr. Claudio José Cavalcante Blanco/UFPA

Dra. Helenilza F. Albuquerque Cunha/UNIFAP (Suplente)

Dr. Luciano Araujo/UEAP (Suplente)

MACAPÁ – AP
2015

PREFÁCIO

Este trabalho possui três capítulos (artigos), seguindo o formato alternativo proposto pelas Normas de Diretrizes para Normalização de documento impresso e eletrônico de Teses e Dissertações da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) de 2005, indicado pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical (PPGBIO). Optou-se pelo uso das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O presente estudo pretende ser uma contribuição importante por se tratar de uma abordagem científica inédita em trecho representativo da bacia hidrográfica do Rio Jari-AP. Trata principalmente de estudos limnológicos em cerca de 80 km de extensão de seu trecho, à jusante da Cachoeira Santo Antônio, local impactado pela Hidrelétrica (UHE Santo Antônio - UHESAJ), mas também pela contínua expansão urbana das cidades de Laranjal do Jari (AP), Vitória do Jari (AP), Monte Dourado (PA), todas situadas às margens do referido rio. Um terceiro fator importante a ser considerado na pesquisa são os impactos ambientais causadas por atividades industriais, como a da Jari Celulose e produção de caulim (CADAM).

Espera-se que esta pesquisa, desenvolvida em três capítulos, torne-se uma *linha de base referencial* sobre o atual estado da qualidade da água do ecossistema aquático no referido trecho, antes da instalação da UHESAJ, sem perder de vista suas principais forçantes físicas: precipitação, aspectos hidrológicos e hidráulicos, tais como a vazão e o tempo de residência (T_r) da água no referido trecho e, principalmente, suas influências em relação a um sítio ou período de referência amostral.

O primeiro capítulo (artigo), com o título "**QUALIDADE DA ÁGUA EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS TROPICAIS SOB IMPACTOS AMBIENTAIS NO BAIXO RIO JARI-AP: REVISÃO DESCRITIVA**", trata-se de uma revisão sobre o "estado da arte" sobre qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Jari-AP, considerando a importância do ciclo hidrológico e o contexto de uso e ocupação da terra, com destaque às análises de impactos ambientais (AIAs) da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio do Jari (UHESAJ) no período de sua maior significância, entre 2005 e 2014.

O objetivo foi realizar uma análise das contribuições tecno-científicas da literatura sobre o tema, dividindo o estudo em uma revisão sintética envolvendo recursos hídricos, limnologia, saúde pública e riscos ambientais na bacia do rio Jari, bem como a interpretação e

análise dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade da água e suas respectivas variações espaço-sazonais no contexto hidrometeorológico da bacia.

A construção do texto foi baseada em uma revisão descritiva sobre o tema qualidade da água e conceitos transversais, enfatizando aspectos de limnologia e ecologia dos ecossistemas aquáticos. Além disso, foram analisados os estudos realizados no Baixo Rio Jari-AP entre 2005 e 2014 com foco na análise de impacto ambiental em relação a instalação da UHESAJ, monitoramento da qualidade da água realizado por órgãos governamentais (ANA e SEMA-AP), pesquisas acadêmicas com o objetivo de analisar as consequências de inundações na cidade de Laranjal do Jari e, finalmente, uma análise mais profunda da qualidade da água e sua relação com os impactos antrópicos e o clima naquela região.

Com base no levantamento de pesquisas voltadas para o Baixo Rio Jari este estudo mostrou a existência de sensíveis alterações em relação a qualidade do seu corpo hídrico principal, sendo este influenciado diretamente pelos impactos antrópicos como a instalação UHESAJ e o crescimento de cidades vizinhas Laranjal do Jari e Vitória do Jari.

Também foi observado que parâmetros como o OD, DBO, pH, entre outros, apresentam influencia direta do ciclo hidrológico da região (sazonalidade), provavelmente vinculados ao despejo de esgoto com a presença de *E.Coli* e Coliformes Termotolerantes (CT), os quais mostraram-se significativamente elevados em períodos mais chuvosos.

Mesmo que este estudo possa ser considerado uma linha de referência inicial aos estudos de qualidade da água no referido trecho, ainda há lacunas em relação aos locais principais de despejo de esgoto que podem estar modificando suas características, mostrando a necessidade do constante monitoramento e análise do mesmo.

O segundo capítulo, com o título "**USO DE PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS E INDICADORES DE ESTADO TRÓFICO (IET) PARA AVALIAR QUALIDADE DA ÁGUA EM ECOSISTEMA TROPICAL SOB IMPACTOS AMBIENTAIS**", teve como objetivo quantificar a variabilidade espacial-sazonal de 20 parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e o estado trófico (IET) ao longo de 8 sítios localizados em um trecho de 80 km no Baixo Rio Jari-AP, os quais foram monitorados trimestralmente entre setembro de 2013 a junho de 2014.

Neste estudo foram considerados os impactos ambientais da expansão urbana, presença de indústria e construção da hidrelétrica de Santo Antônio do Jari (UHESAJ) sobre a

qualidade da água, assim como as características hidrológicas e climatológicas do local de estudo.

A metodologia deste trabalho consistiu no monitoramento, quantificação e análise de 20 parâmetros da qualidade da água e estimativa do Índice do Estado Trófico (IET) em 8 (J1-J8) sítios distribuídos ao longo de 80 km a partir da cachoeira de Santo Antônio do Jari até as proximidades da cidade de Vitória do Jari. Neste trecho foram incluídos os principais impactos antrópicos como a construção da UHESAJ, presença de indústria de caulim (CADAM) e celulose (FACEL), bem como respostas aos despejos de esgotos urbanos das cidades como Laranjal do Jari e Vitória do Jari. Os valores dos 20 parâmetros analisados foram comparados com os limites estabelecidos pela resolução 357/2005 do CONAMA segundo a categoria de corpos d'água classe 2.

O cálculo do IET utilizado neste trabalho levou em consideração o método desenvolvido por Lamparelli (2004), onde a autora considera os níveis de nutrientes como o fósforo, para determinar o nível de eutrofização de um corpo hídrico lótico e assim classificar o estado trófico do trecho em questão.

Além disso, os 20 parâmetros foram testados estatisticamente através de métodos não paramétricos para se observar a possível correlação destes com a precipitação (*Spearman*) e a variação espaço-temporal (Kruskal-Wallis e AAH, análise cluster hierárquica) ao longo dos períodos de coleta.

Os resultados indicaram que somente o parâmetro OD apresenta variação espacial no trecho em estudo, com diminuição de sua concentração a partir do sítio J1 (cachoeira Santo Antônio do Jari) em direção ao ponto J8 (após a cidade Vitória do Jari), podendo esta variação estar associada com as características hidrodinâmicas como a reaeração (cachoeira Santo Antônio do Jari) e influências de marés (do rio Amazonas).

Também foi possível identificar a variação sazonal (temporal) dos parâmetros (cor, turbidez, condutividade elétrica da água, DBO, amônia, fósforo, pH, sulfato, magnésio, cloreto, coliformes termotolerantes (CT), *Escherichia coli* e clorofila-a). Entretanto, alguns parâmetros como OD, SST, STD não sugerem variações significativas em relação a sazonalidade.

Neste estudo ainda foi possível supor a relativa influência antrópica no trecho, onde se observa elevados valores de concentração de *E. coli* (normalmente relacionados com despejo de esgotos sanitários), além de aumento da concentração de sulfato em áreas a jusante das

indústrias CADAM e FACEL. Além de parâmetros microbiológicos, na literatura da área foi registrado frequente e significativa elevação da turbidez com variação sazonal.

Houve correlação (*Spearman*) de vários parâmetros (cor, turbidez, temperatura, OD, cloreto, amônia, magnésio, DBO, sulfato, pH, *E.coli*, coliformes termotolerantes (CT), clorofila-a) com os parâmetros físicos (chuva/vazão), sugerindo forte dependência destes com o ciclo hidrológico sazonal.

Entretanto, a estimativa do IET aplicado neste estudo, mostrou que o rio Jari possui características de baixa e média concentração de nutrientes (oligotrófico, mesotrófico e ultraoligotrófico) e tais características variaram sazonal e espacialmente ao longo do período de coleta, indicando uma possível relação da concentração dos nutrientes com a hidrodinâmica e sítios de coleta no trecho estudado. Assim, este estudo serve como base referencial devido sua antecedência e proximidade em relação ao início da operação da UHESAJ, além de servir como alerta ecológico e ambiental sobre problemas com a qualidade da água na região.

O terceiro e último capítulo, com o título "**ÍNDICE DE ESTADO EUTRÓFICO (IET) E TEMPO DE RESIDÊNCIA (T_r) ASSOCIADOS À HIDRODINÂMICA NO BAIXO RIO JARI-AP**", teve o objetivo de avaliar a influência do regime hidrológico e da hidrodinâmica sobre a taxa de renovação ou tempo de residência (T_r) e sua relação com parâmetros limnológicos (IET) em 80 km de extensão do Rio Jari-AP.

Neste estudo utilizou-se equação de Lamparelli (2004) para o cálculo do Índice do Estado Eutrófico (IET) a partir da concentração do fósforo total coletados em 8 sítios (J1-J8) diferentes distribuídos em um trecho de 80 km no Baixo Rio Jari-AP. Foi considerado a sazonalidade climatológica e as seções de monitoramento de vazão: J1, J2 e J8. O estudo hidrodinâmico do escoamento e batimetria do canal natural, foi realizado com o equipamento (ADP - Accustic Doppler Profiller), e o T_r a partir de um volume de controle de aproximadamente 10 km de extensão localizado entre os sítios J2-J3, tomando como base a série histórica de 30 anos da vazão citadas por Lucas et al. (2010).

Estatisticamente procurou-se mostrar a possível correlação (*Spearman*) existente entre o IET, T_r com os padrões hidrodinâmicos do rio Jari (série histórica de vazão e vazão dos sítios J1, J3 e J8). E através do método Kruskal-Wallis, foi verificado as possíveis variações espaço-sazonal do IET.

As conclusões encontradas neste estudo, mostraram que o T_r no volume de controle sofre variações sazonais significativas ($p < 0,05$), o qual aumenta significativamente nos

períodos de estiagem, podendo chegar até 33 horas e diminuindo nos períodos chuvosos com valor de 3 horas. Tais diferenças têm implicações ecológicas importantes.

O IET apresentou variação entre o estado oligotrófico, mesotrófico e ultraoligotrófico. No entanto não foi possível identificar sua variação espaço-sazonal significativa ($p > 0,05$), provavelmente devido aos poucos sítios de vazão (somente três) selecionados para comparação.

Ao se analisar os resultados e conclusões obtidos nos três capítulos, observa-se que mesmo diante os impactos antrópicos da região (instalação da UHESAJ, crescimento urbano sem planejamento de cidades e a presença de indústrias) o rio Jari ainda apresenta bons resultados em relação aos parâmetros de qualidade da água. Mas já apresenta aparentemente modificações significativas em relação a alguns parâmetros de qualidade da água, principalmente aqueles ligados a descarga de esgotos não tratados (CT e *E.Coli*), que sofrem aumento principalmente em períodos chuvosos.

Espera-se esta pesquisa venha a contribuir e preencher algumas lacunas referentes às características limnológicas e hidrodinâmicas do Baixo Rio Jari-AP. No entanto, tais características são dinâmicas, fazendo com que seja necessária a realização de estudos que possam dar continuidade ao monitoramento da qualidade da água daquele trecho de rio e avaliar os potenciais impactos ao longo do tempo.

LISTA DE FIGURAS

	ARTIGO 1 - Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo rio Jari-AP: revisão descritiva	
Figura 1	Áreas de conservação e terras indígenas.....	26
Figura 2	Bacia Hidrográfica do Rio Jari , seus tributários e pontos de coleta Hydros Engenharia (2010) e Oliveira e Cunha (2014) representando o atual estado da arte do sistema de monitoramento da qualidade da água entre 2005 e 2014, indicado pelo quadro inferior a esquerda.....	28
	ARTIGO 2 - Uso de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e indicadores de estado trófico (iet) para avaliar qualidade da água em ecossistema tropical sob impactos ambientais	
Figura 1	Bacia hidrográfica do Rio Jari e os sítios de coleta ao longo do rio Jari, localização das principais cidades e localização da UHESA próxima à cachoeira de Santo Antônio.....	49
Figura 2	Comparações entre a vazão histórica (climatologia de 30 anos) e um evento extremo ocorrido em 2000 registradas pela estação de São Francisco - Rio Jari-AP. As setas verticais indicam os períodos climáticos em que foram realizadas as campanhas de monitoramento da qualidade da água.....	50
Figura 3	Dendrograma indicando a divisão entre dois grupos de pontos de coleta para o OD.....	54
Figura 4	Box Plot da variação espacial da concentração do OD (mg/L).....	55
Figura 5	Resultado dos parâmetros físicos em função dos períodos de coleta. 5a: Cor (Pt/L); 5b: Turbidez (NTU); 5c: SST(mg/L); 5d: STD(mg/L); 5e: Temperatura (°C); CE: (uS/cm). VTS= Variação temporal significativa. VTNS= Variação temporal não significativa.....	59
Figura 6	Variação dos parâmetros químicos em função dos períodos de coleta com desvio padrão. 6a: OD (mg/L) ; 6b: Cloreto(mg/L); 6c: NH ₃ (mg/L); 6d: Mg(mg/L); 6e: Cálcio(mg/L); 6f: DBO(mg/L); 6g: Sulfato(mg/L); 6h: Fósforo(mg/L); 6i: pH; 6j: Nitrato(mg/L). VTS= Variação temporal significativa. VTNS= Variação temporal não significativa.....	61
Figura 7	Variação dos parâmetros biológicos em função dos períodos de coleta. 7a: <i>E.coli</i> (/100ml); 7b: CT(100/ml); 7c: Clorofila(ug/cm ³). VTS= Variação temporal significativa. VTNS= Variação temporal não significativa.....	63

ARTIGO 3 - Índice de estado eutrófico (IET) e tempo de residência (T_r) associados à hidrodinâmica no baixo rio Jari-AP

Figura 1	Bacia hidrográfica do Rio Jari e os sítios de coleta ao longo do rio Jari, localização das principais cidades e localização da UHESA próxima à cachoeira de Santo Antônio.....	75
Figura 2	Comparações entre a vazão histórica (climatologia de 30 anos) e um evento extremo ocorrido em 2000 registradas pela estação de São Francisco - Rio Jari-AP. As setas verticais indicam os períodos climáticos em que foram realizadas as campanhas de monitoramento da qualidade da água e IET.....	76
Figura 3	Equipamento utilizado para batimetria e vazão ADP SonTek M9.....	79
Figura 4a	Medida de descarga líquida representativa na seção J1 do Rio Jari-AP.....	80
Figura 4b	Medida de descarga líquida representativa na seção J3 do Rio Jari-AP.....	81
Figura 4c	Medida de descarga líquida representativa na seção J8 do Rio Jari-AP.....	81
Figura 5	Batimetria entre os sítios J2 e J3 (trecho experimental) do Rio Jari-AP.....	82
Figura 6	Tempo de residência (T_r) com variação temporal significativa ($p < 0,05$).....	83
Figura 7	Variação espacial do IET não significativa ($p > 0,05$).....	84
Figura 8	Variação sazonal do IET Rio Jari	86

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1 - Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo rio Jari-AP: revisão descritiva

Tabela 1	Estudos limnológicos de interesse para o presente estudo na bacia do Rio Jari entre 2003-2014.....	29
Tabela 2	Média dos valores máximos encontrados durante as campanhas realizadas por Hydros Engenharia, 2010 e Oliveira e Cunha (2014) para o período de estiagem e chuvoso.....	31

ARTIGO 2 - Uso de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e indicadores de estado trófico (iet) para avaliar qualidade da água em ecossistema tropical sob impactos ambientais

Tabela 1	Unidades de medida dos parâmetros utilizados, seus respectivos métodos e equipamentos de análise e valores máximos e mínimos estipulados pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA para rios de classe II *Limites para consumo humano.....	52
Tabela 2	IET para ambientes lóticos.....	53
Tabela 3	IET calculado em função do fósforo.....	64

ARTIGO 3 - Índice de estado eutrófico (IET) e tempo de residência (T_r) associados à hidrodinâmica no baixo rio Jari-AP

Tabela 1	IET para ambientes lóticos.....	77
Tabela 2	Vazão durante o período chuvoso e de estiagem, com profundidade média e velocidade média no sítio J1. Qe: Vazão estiagem. Qc: Vazão chuvoso. Vm: Velocidade média.....	80
Tabela 3	Vazão durante o período chuvoso e de estiagem, com profundidade média e velocidade média no sítio J3. Qe: Vazão estiagem. Qc: Vazão chuvoso. Vm: Velocidade média.....	81
Tabela 4	Vazão durante o período chuvoso e de estiagem, com profundidade média e velocidade média no sítio J8. Qe: Vazão estiagem. Qc: Vazão chuvoso. Vm: Velocidade média.....	81
Tabela 5	Tempo de residência (T_r) sazonal.....	84
Tabela 6	IET calculado em função do fósforo (Equação 1) com médias e desvio padrão....	85

SUMÁRIO

ARTIGO 1 - Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo rio Jari-AP: revisão descritiva.....	14
RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 CONCEITOS GERAIS.....	19
2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	19
2.2 HIDROLOGIA E/OU HIDRODINÂMICA.....	20
2.3 VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS - VÍNCULOS COM A DINÂMICA HIDROLÓGICA.....	22
3 HISTÓRICO DE MONITORAMENTO PARA AIA DE UHE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JARI.....	25
3.1 PESQUISAS SOBRE HIDROLOGIA E QUALIDADE DA ÁGUA REALIZADAS NO ESTADO DO AMAPÁ, COM DESTAQUE AO BAIXO RIO JARI.....	29
3.1.1 Detalhamento dos resultados sobre a qualidade da água na bacia do rio Jari (2005-2014).....	31
4 CONCLUSÃO.....	34
5 AGRADECIMENTOS.....	35
REFERÊNCIAS.....	35
ARTIGO 2 - Uso de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e indicadores de estado trófico (IET) para avaliar qualidade da água em ecossistema tropical sob impactos ambientais.....	41
RESUMO.....	42
ABSTRACT.....	43
1 INTRODUÇÃO.....	44
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	48
2.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	50
2.3 MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS.....	53
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54

3.1	VARIAÇÃO ESPACIAL DOS PARÂMETROS.....	54
3.2	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS X PRECIPITAÇÃO..	55
3.3	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS X PRECIPITAÇÃO.....	59
3.4	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS X PRECIPITAÇÃO.....	62
3.5	ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET).....	63
4	CONCLUSÃO.....	64
5	AGRADECIMENTOS.....	66
	REFERÊNCIAS.....	66
	ARTIGO 3 - Índice de estado eutrófico (IET) e tempo de residência (T_r) associados à hidrodinâmica no baixo rio Jari-AP.....	71
	RESUMO.....	72
1	INTRODUÇÃO.....	72
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	74
2.1	ÁREA DE ESTUDO.....	74
2.2	ESCOLHA DOS SÍTIOS DE COLETA E MÉTODOS DE CÁLCULO DO IET.....	77
2.3	DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA VAZÃO SAZONAL EM J1, J3 E J8 E BATMETRIA (J2 A J3 - 10 km de Extensão).....	78
2.4	ESTIMATIVA DO TEMPO DE RESIDÊNCIA (T _r) NO TRECHO DE CANAL (J2 - J3).....	79
2.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA - TESTES DE CORRELAÇÃO.....	79
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
3.1	VAZÃO E BATMETRIA.....	79
3.2	ESTIMATIVA DO TEMPO DE RESIDÊNCIA (T _r).....	82
3.3	ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET).....	84
4	CONCLUSÃO.....	86
5	AGRADECIMENTOS.....	87
	REFERÊNCIAS.....	87
	APÊNDICE A.....	91

ARTIGO 1 - Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo rio Jari-AP: revisão descritiva

Submetido em: 24/12/2014
Periódico: Biota Amazonia
Qualis para biodiversidade: B3

QUALIDADE DA ÁGUA EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS TROPICAIS SOB IMPACTOS AMBIENTAIS NO BAIXO RIO JARI-AP: REVISÃO DESCRITIVA

Carlos Henrique M. de Abreu¹ e Alan Cavalcanti Cunha²

1. Mestrando em Biodiversidade Tropical PPGGIO - UNIFAP, Licenciado em Física. Campus Universitário Marco Zero do Equador Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 02, Bloco T, Bairro Universidade 68903-419 – Macapá, AP, Brasil. carlos_767@ig.com.br (email principal)

2. Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical PPGGIO- UNIFAP, Eng. Químico. Prof. Adjunto III do Curso de Ciências Ambientais - UNIFAP. Campus Universitário Marco Zero do Equador Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 02, Bloco T, Bairro Universidade 68903-419 – Macapá, AP, Brasil. alancunha@unifap.br

RESUMO

O objetivo da presente investigação é elaborar uma "revisão descritiva" sobre qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Jari-AP, considerando a importância do ciclo hidrológico e o contexto de uso e ocupação da terra. Destaque é dado à avaliação de impactos ambientais (AIAs) da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio do Jari (UHESAJ) no período de 2005 a 2014. A metodologia aplicada é de revisão de contribuições tecno-científicas da literatura, dividida em duas etapas básicas: a) revisão sintética sobre recursos hídricos, limnologia, saúde pública e riscos ambientais na bacia do rio Jari; b) interpretação e análise dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade da água e suas respectivas variações espaço-sazonais no contexto hidrometeorológico da bacia. Os resultados indicaram que alguns empreendimentos econômicos e a ocupação urbana desordenada na bacia do rio Jari-AP tendem a influenciar negativamente a qualidade da água, assim como ocorre na maioria dos casos registrados em estudos de AIAs em todo o Brasil, cujas alterações dos padrões da qualidade da água já são significativas ou detectadas por monitoramento. Concluiu-se que próximo de zonas urbanas, industriais e da instalação da UHESAJ, encontra-se o trecho ambientalmente mais ameaçado da bacia hidrográfica, com sensível alteração da qualidade da água, destacando-se os parâmetros cor, fósforo, coliformes termotolerantes (CT) e *Escherichia coli*. Esta investigação é uma contribuição ou referência para futuros estudos da qualidade da água na bacia, servindo como suporte às novas pesquisas e gestão de ecossistemas aquáticos, normalmente pouco disponíveis na literatura amazônica.

PALAVRAS-CHAVE: Limnologia; Condições Hidroambientais; Estudo de Referência; AIA, Jusante de Barragem

ABSTRACT

The objective of this research is to present a 'state of the art' on water quality in the basin of river Jari-AP, considering the importance of the hydrologic cycle and the context of use and occupation of the land. The research focuses on the environmental impact assessment (EIA) of the hydroelectric plant of Santo Antonio do Jari (UHESAJ), in the period between 2005-2014. The methodology applied is the review of techno-scientific contributions of literature, divided into two basic steps: a) summary review of water resources, limnology, public health and environmental risks in the Jari River basin; b) interpretation and analysis of physical, chemical and biological parameters of water quality and their space-seasonal variations, considering the hydrological context. The results indicated that some economic

enterprises and disorderly urban occupation in the Jari-AP River basin tend to negatively influence the quality of water, as well as in most of the cases reported in EIA studies in Brazil, whose changes in the patterns of water quality are already significant and detected by monitoring in its lower course. We conclude that, close to urban, industrial and installation of UHESAJ, there is the most environmentally threatened stretch, with significant effect on water quality, highlighting color, phosphorus, fecal coliform (TC) and *Escherichia coli* parameters. This research is a contribution to future studies of water quality in the basin, which usefulness is to serve as support for new research and management of aquatic ecosystems, normally no available literature in the Amazon.

KEYWORDS: Limnology; Hydroenvironmental conditions; Reference Study; AIA, Downstream Dam

1 INTRODUÇÃO

Corpos naturais de água, como os rios e córregos, são ecossistemas frequentemente influenciados pela intensificação da degradação ambiental causada por atividades humanas, especialmente associadas ao aumento da densidade populacional. Estes impactos devem-se principalmente à elevação da carga de efluentes industriais e domésticos, ao aumento de áreas agrícolas e, principalmente, a construção de barragens, que promovem perda de hábitat, perturbação e introdução de espécies (BARRETO et al., 2014; BOTELHO; FROES, 2012; MOYA et al., 2007; ROLAND et al., 2012).

Na Amazônia ainda concorrem para estas influências o desmatamento florestal, que é um dos fatores que mais causam mudanças dos processos biogeoquímicos (WARD et al., 2013) e modificam inclusive a capacidade de autodepuração das águas (CUNHA et al., 2011), além da perda de biodiversidade aquática (CUNHA et al., 2013a). Contudo, é provável que a maior intensidade dessas perdas ocorra nas regiões mais desenvolvidas do país (AGOSTINHO, 2005) ou no entorno de grandes empreendimentos como as usinas hidrelétricas (CUNHA et al., 2013b; CUNHA et al., 2013c), podendo influenciar na dinâmica microclimática local.

Estudos recentes indicam que as atuais tendências de mudanças climáticas possuem atuação direta na disponibilidade de água em ecossistemas de água doce, especialmente na Amazônia Oriental, modificando o padrão de escoamento hídrico pela intensificação de eventos extremos e alagamento ou secamento das terras (CUNHA et al., 2011; CUNHA et al., 2013a; CUNHA et al., 2013b; CUNHA et al., 2013c; DALLAS; RIVERS-MOORE, 2014; WEISSENBERGER et al., 2010).

É fato que essas variações hidrológicas afetam sobremaneira a qualidade, a disponibilidade e a composição química da água (nutrientes), bem como influenciam os processos ecológicos e as estruturas bióticas dos ambientes aquáticos (BUSS et al., 2002). Por exemplo, a precipitação é um fator antecedente aos aspectos hidrológicos, determinantes da qualidade da água condicionando sua dinâmica espacial-temporal. Estes últimos são de fato frequentemente considerados como gradientes ecológicos (CUNHA et al., 2013a), os quais são utilizados como variáveis independentes explicativas de outros fatores abióticos e/ou bióticos em modelos de qualidade da água (CUNHA, 2013). Além disso, os processos de trocas de nutrientes (N, P e K, etc) entre os ambientes aquáticos e terrestres são sensíveis às interferências dos processos hidrológicos, especialmente os hidrossedimentométricos e erosivos de margens e leito de rios que, conseqüentemente, afetam o transporte de partículas,

nutrientes e compostos químicos entre estes ambientes oriundos do solo (GALLOWAY; COWLING, 1978).

É evidente que a compreensão sobre a variação das precipitações e das vazões hídricas nas bacias Amazônicas é relevante, principalmente para melhor compreender como estes se relacionam com a qualidade da água nos ecossistemas. Por exemplo, Souza et al. (2009) descrevem esta climatologia como de regime pluviométrico elevado, com tipologia classificada como **Am** (Equatorial Superúmido) e, segundo classificação de Köppen, apresentando uma significativa variabilidade espacial e temporal, especialmente quando se consideram bacias relativamente grandes (acima de 30 mil km²) onde se enquadra a do rio Jari (LUCAS et al., 2010; OLIVEIRA; CUNHA et al., 2014; SILVEIRA, 2014).

De acordo com Soito e Freitas (2011), os biomas amazônico e o nordeste brasileiro, são considerados *hotspots* que representam as regiões hidrologicamente mais vulneráveis do Brasil em face às mudanças climáticas. Esta preocupação está relacionada com os modelos de previsão climáticos que projetam aumento de temperatura, mas discordam em relação às mudanças dos padrões de chuva. Neste viés, se há pouca previsibilidade em relação à precipitação, também é possível esperar incertezas consideráveis sobre os processos hidrológicos e, conseqüentemente, na qualidade da água vinculada aos ecossistemas aquáticos e suas interações com a floresta (CUNHA et al., 2014; BÁRBARA et al., 2010; BRITO, 2008).

Estas incertezas surgem porque as análises de cenários da precipitação em nível de mesoescala ou em escala de bacia (BLANCO et al., 2013; CUNHA et al., 2015) ainda não representam muito bem os efeitos hidrológicos na Amazônia. Como resultado, o nível de insegurança apresentado por modelos é um dos reflexos negativos significativos sobre as estimativas de cenários que representem a perda ou manutenção da biodiversidade tropical destes ambientes. No Estado do Amapá Neves et al. (2012) estudaram as interações entre precipitação e vegetação, mostrando a importância do ciclo hidrológico. Sá de Oliveira (2012), por outro lado, avalia como as guildas (espécies de peixes) variam significativamente dentro de um reservatório artificial amazônico (UHE Coaracy Nunes, no rio Araguari) durante longos períodos.

Mas em relação à variabilidade hidrológica, em diversas bacias hidrográficas do Estado do Amapá, inclusive a do rio Jari, ainda existem consideráveis lacunas de conhecimento sobre seu comportamento (LUCAS et al., 2010). Assim, a prática em nível de gestão deste tipo de conhecimento em favor da proteção e conservação da biodiversidade é pouco frequente. Por exemplo, no trecho de montante da instalação da UHESAJ, onde se encontram algumas Unidades de Conservação (UCs), há pouco conhecimento quanto à modalidade de Pagamento por Serviços Ambientais Hídricos (PSAH) (DIAS, 2013). Por outro lado, demandas por informações concernentes às tomadas de decisão e gestão eficiente dos ecossistemas aquáticos têm sido crescentes, em vista do aumento dos riscos ambientais associados às mudanças do uso e ocupação do solo sobre os padrões hidrometeorológicos (inclusive Defesa Civil e Saneamento Ambiental). Mas normalmente o mau uso e ocupação da terra contribuem para aumento de frequência de conseqüências negativas causadas por eventos hidroclimáticos extremos (CUNHA et al., 2011; CUNHA et al., 2013b; SANTOS, 2012).

Como a bacia do rio Jari apresenta parâmetros climatológicos especialmente "pouco monitorados", devido sua baixa densidade da rede de observação no seu alto curso a distribuição das precipitações médias são também pouco conhecidas. Mas alguns registros a acusam na ordem de 2.300 mm/ano e temperatura média próxima dos 27° C) (LUCAS et al., 2010). Além disso, alguns desses valores normalmente são extrapolados com o auxílio de estações de outras bacias (BLANCO et al., 2007). Além da escassez de dados para avaliar tais

variações com precisão, em termos hidroclimatológicas sazonais e interanuais, também há escassos estudos sobre como estas influenciam a formação ou propagação de enchentes na região e destas sobre o comportamento limnológico/hidrológico ou hidroambiental. Sabe-se que estas cheias ocorrem em média a cada 4-6 anos (OLIVEIRA; CUNHA, 2010), mas há notória dificuldade em se obter dados oficiais tratados para usos específicos, como por exemplo, aqueles utilizados na prevenção de cheias ou secas pela Defesa Civil.

Assim, até mesmo o setor de Defesa Civil do Estado tem dificuldades de uso deste tipo de informação para tomada de decisão ou na gestão de risco. Contudo, para a presente pesquisa, o fator mais relevante para a biodiversidade aquática da bacia do rio Jari é compreender como a variação hidroclimatológica impacta a qualidade da água, a qual, por seu turno, atribui diferentes aspectos ecológicos e sanitários à água, empregando-lhe características abióticas que são influenciadas pelos ambientes impactados por indústrias, agro-silvicultura, UHEs e sistemas urbanos sem planejamento, como a cidade de Laranjal do Jari e Vitória do Jari (OLIVEIRA; CUNHA, 2014).

Para melhor compreender as variações das precipitações e suas potenciais influências na qualidade da água, Silveira (2014) elaborou uma análise espacial-mensal (mapas) da distribuição da precipitação média acumulada na bacia do rio Jari (série de 1968 a 2012). O referido autor utilizou-se de informações de estações da bacia do rio Jari e do Estado do Pará (Almeirim, por extrapolação) concluindo que nas últimas três décadas estão ocorrendo um longo e suave declínio da precipitação anual média (tendência para aumento de frequência de eventos de seca). Contudo, esta tendência não se configura ainda como significativa ($p > 0,05$). Este tipo de incerteza tem sido reportado em diversas bacias da Amazônia Oriental citadas por Blanco et al. (2013) e especificamente na bacia do rio Araguari, no estado do Amapá, por Cunha et al., (2015), sendo que para esta última há uma tendência inversa para eventos de cheia na bacia do rio Araguari, apesar de ambas serem contíguas.

No contexto dos processos hidrológicos na bacia do rio Jari, e em relação aos reflexos sobre a qualidade da água, especialmente no seu baixo curso, destacam-se os seguintes aspectos da ocupação e uso do solo: empreendimentos agroindustriais (indústria de celulose e de plantação de eucalipto e pinho), hidrelétrico (UHESAJ) e a expansão urbana. Esta última é considerada como fator negativo e impactante da qualidade sanitária da água. Percebe-se uma notável precariedade da infraestrutura de saneamento básico das cidades ribeirinhas ao longo do baixo Rio Jari (Laranjal do Jari e Vitória do Jari) e sua correlação com depleção da qualidade da água em períodos mais chuvosos (OLIVEIRA; CUNHA, 2014), provavelmente devido ao lançamento difuso de esgotos sanitários *in natura*. Além disso, há desconhecimento sobre a dispersão de poluentes influenciada pela dinâmica da variação espacial-sazonal do ciclo hidrológico. A importância disso é que estes fatores tendem a elevar os riscos sanitários da população ribeirinha contrair doenças de veiculação hídrica (OLIVEIRA; CUNHA, 2014), mas também aumentam as incertezas de ações de conservação da biodiversidade.

Oliveira e Cunha (2014) estudaram 16 variáveis de qualidade da água normalmente utilizados em AIAs e sua relação com os processos hidrológicos da bacia do rio Jari. Os autores conduziram um monitoramento mensal entre novembro de 2009 e novembro de 2010, e sugeriram que as águas superficiais do rio Jari, pelo menos em quatro sítios amostrais definidos em um trecho de 36 km, já apresentavam valores consistentes em termos de não conformidade com a legislação do CONAMA (357/2005).

Neste contexto, a presente investigação objetiva a elaboração de um estudo de revisão descritiva sobre o tema sobre qualidade da água e seus conceitos transversais, como ecologia e limnologia de ambientes aquáticos, exemplificando, quando necessário, outros casos de

bacias hidrográficas tropicais amazônicas bem como a importância dos estudos ecológicos desta natureza e seus desdobramentos para a gestão e conservação da biodiversidade tropical.

É importante frisar que o resultado do presente estudo serve como uma "linha de base teórica" que poderá ser adotada como ponto de partida para estudos posteriores para a avaliação mais abrangente da variação dos parâmetros da qualidade da água e suas interações com os processos hidrológicos sazonais em ecossistemas aquáticos tropicais, especificamente na bacia do rio Jari. Deste modo, como "pano de fundo" dos estudos avaliados da literatura regional, nacional e internacional, é dada especial atenção aos recentes relatos de Avaliação de Impactos Ambientais para a implantação da UHE de Santo Antônio do Jari (UHESAJ). Destaca-se a problemática da expansão urbana, com suas respectivas influências espaço-sazonais e a presença de indústrias como a CADAM e FACEL. Estudos desta natureza são importantes para avaliar a evolução da qualidade da água e sua consequência para a conservação da biodiversidade tropical.

2 CONCEITOS GERAIS

2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

A bacia hidrográfica é uma unidade territorial útil ao planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. Possui uma área de captação natural da água das chuvas convergindo o seu escoamento para um único ponto de saída. É composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (PORTO, 2008; TUCCI, 1997).

De acordo com a legislação brasileira atual (Lei 9.433/97), esta unidade territorial deve ser considerada em qualquer plano de bacia (SANTOS; CUNHA, 2013). Segundo os referidos autores, a Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997, intitulada Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), tem enfatizado que diante da necessidade de proteção das águas contra diversas formas de poluição e de uso inadequado, a PNRH define padrões e critérios de utilização dos recursos aquáticos. A referida Lei instituiu também o instrumento de outorga como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Apesar da proteção legal e sua importância sócio-econômica, as bacias hidrográficas sofrem constantes impactos bióticos e abióticos irreversíveis devido à construção de barragens, lixiviação de fertilizantes e pesticidas de atividades agrícolas e silviculturais desenvolvidas no entorno dos rios, promovidas por transporte de material alóctone, sem contar com as descargas de esgotos domésticos *in natura* e industriais lançados em parte da extensão da bacia (BARRETO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2009).

Como a qualidade da água de uma bacia hidrográfica pode ser influenciada por diversos fatores, como cobertura vegetal, topografia, geologia, uso/manejo do solo e área de entorno, esta pode estar sujeita à perturbação ou variação nos seus gradientes físicos, químicos e biológicos. Dependendo da condição hidrológica das correntes, estes influenciam o comportamento e a variação da concentração de nutrientes, riqueza e diversidade de espécies nos ecossistemas aquáticos (BRITO, 2008; CUNHA et al., 2013a)

Os parâmetros limnológicos que são frequentemente estudados em AIAs nas bacias hidrográficas são: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), temperatura da água, Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogênio Iônico (pH), Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃), Nitrito (NO₂), Nitrato (NO₃) e turbidez. Desses, o principal componente para se determinar a qualidade da água em um ecossistema aquático sob impactos ambientais é o OD e a DBO, pois ambos permitem respectivamente quantificar a variação básica da oferta de oxigênio dissolvido e a variação espacial-temporal da concentração de matéria orgânica respirável

(biodegradável) existente no meio líquido (CUNHA et al., 2011; RIXEN et al., 2012; WARD et al., 2013).

2.2 HIDROLOGIA E/OU HIDRODINÂMICA

Como comentado anteriormente, a hidrologia/hidrodinâmica é considerada como um dos mais importantes fatores físicos para o manejo de bacias hidrográficas. Esta componente é representada principalmente pela vazão (ou nível da lâmina d'água em uma estação de referência ou monitoramento) (SANTOS et al., 2014). Tal componente deve estar sempre vinculado diretamente ao ciclo hidrológico do corpo d'água em qualquer estudo deste tema. E suas respectivas medidas também devem estar vinculadas às trocas de nutrientes entre ecossistemas aquáticos e terrestres - dentro dos princípios da modelagem ecológica quantitativa. Em conjunto com outros fatores (percolação, escoamento basal, evapotranspiração, etc), a precipitação determina a intensidade da vazão, sendo capaz de produzir cheias, quando o solo já está saturado, e é um fator importante para estudos ecológicos, mas normalmente tem sido mais intensamente utilizada nos estudos de geração de energia (BRITO, 2008; CUNHA et al., 2011; TUCCI, 1997) e negligenciado nos ecológicos (CUNHA et al., 2013; SANTOS, 2012).

De forma geral, o comportamento hidrológico representado pelo escoamento hidrodinâmico (vazão) é responsável pelo transporte (advectivo-difusivo) de massa na água, podendo determinar a disponibilidade de nutrientes através do transporte e da disponibilidade de luz, devido aos processos de deposição e ressuspensão de sedimentos. Mas, acima de tudo, os processos hidrodinâmicos determinam quanto tempo (taxa de renovação ou tempo de residência) uma massa d'água permanece em determinado trecho ou, em outras palavras, o tempo de permanência da água em um volume de controle (BRAUNSCHWEIG et al., 2003).

A influência da precipitação sobre a vazão deve ser analisada numa seqüência de eventos pluviométricos, uma vez que o grau de saturação do solo e do sistema freático influencia diretamente na taxa de escoamento superficial. Assim, o estudo da vazão parece ser mais adequado na avaliação da alteração da qualidade de um corpo de água do que a precipitação, pois os processos hidrológicos sofrem atraso no escoamento em relação ao momento da precipitação. Os fatores relevantes são geométricos, geomorfológicos, grau de compactação e aspectos de porosidade do solo (SANTOS et al., 2014).

Para se calibrar modelos matemáticos preditivos (ajustar os coeficientes e taxas) é preciso entender o padrão dos regimes das vazões dos rios (análise hidráulica). Desta forma o modelo gerado poderá gerar dados que sejam os mais próximos possíveis dos observados (medidos) para aquele curso d'água (BRITO, 2008; SANTOS, 2012; VON SPERLING, 2007).

Por esta razão, a vazão ou descarga líquida é um parâmetro chave para a hidrologia ambiental e tem sido considerada uma confiável preditora de parâmetros biológicos em estudos de ecossistemas aquáticos (CUNHA et al., 2013a; SANTOS et al., 2014), especialmente quando se avalia a influência de barragem sobre a biodiversidade aquática. Contudo, existem vários conceitos associados à vazão de um rio: vazão de referência (Q_r), vazão incremental, vazão ecológica, potencial de vazão ambiental (PVA) e vazão de preservação ecológica (SANTOS; CUNHA, 2013). A vazão de referência é um valor que representa o limite superior de utilização da água em um curso d'água, e é a vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão (VON SPERLING, 2007). A aplicação do critério de vazão de referência constitui-se em procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações para derivações são feitas, geralmente, a partir de uma vazão de base no conceito de pequeno risco.

Esses regimes podem ser divididos em vazão média e vazão mínima. O primeiro é utilizado quando se deseja adotar as séries históricas obtidas na estação fluviométrica. A vazão mínima é utilizada para o planejamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, para a avaliação do atendimento aos padrões ambientais do corpo receptor, para a alocação de cargas poluidoras e para a concessão de outorgas de captação e de lançamento (VON SPERLING, 2007).

A vazão incremental é proveniente da diferença das vazões naturais entre duas seções terminadas de um curso d'água, oriundos de contribuição difusa, relativa a vazões que adentram a calha do rio por drenagem direta ao longo de todo seu percurso, sem serem provenientes de tributários definidos (VON SPERLING, 2007).

A vazão ecológica e a vazão ambiental (ou Potencial de Vazão Ambiental - PVA) possuem conceitos muito semelhantes. Entretanto, a vazão ecológica é definida como sendo a quantidade, a qualidade e a distribuição de água requerida para a manutenção dos componentes, funções e processos do ecossistema aquático ou quantidade necessária ao uso racional de uma demanda. A vazão ambiental, além do conceito citado, insere as dimensões econômicas referentes ao ser humano na complexidade ecológica (JACIMOVIC; O'KEEFFE, 2008; SANTOS; CUNHA, 2013). Por exemplo, a formação de reservatório altera a hidrodinâmica dos rios e modifica a taxa de renovação do corpo d'água, causando potenciais mudanças permanentes em sistemas aquáticos e terrestres, inclusive na riqueza e distribuição de nutrientes da biodiversidade local (GANDINI et al., 2012; WEISSEMBERGER et al., 2010), pois variações de nível atuam diretamente na reprodução de peixes e nas características limnológicas da água (AGOSTINHO, 2005; GOGOLA et al., 2010; SÁ de OLIVEIRA, 2012).

Uma análise sobre as características hidrológicas do Rio Jari foi realizada por LUCAS et al. (2010). Os referidos autores identificaram os anos hidrológicos extremos da série e simularam as vazões mensais (média, mínima e máxima) e cotas (média, mínima e máxima), na bacia hidrográfica do Rio Jari. A metodologia utilizada pelos autores se baseou na projeção Box-Jenkins representado por intermédio dos modelos autorregressivos ARIMA. Além disso, os referidos autores verificaram se a ferramenta utilizada possuía a eficiência para a qual estava sendo aplicada. Os dados climatológicos para alimentar o modelo se basearam em séries de precipitações com períodos maiores que 30 anos coletados pelas poucas estações pluviométricas e fluviométricas localizadas na bacia do Rio Jari (São Francisco e Iratapuru, por exemplo, no médio trecho do Rio Jari).

De acordo com Lucas et al. (2010) o método ARIMA capturou a dinâmica da série temporal na simulação das vazões e cotas mensais, com uma eficiência significativa, e ainda de acordo com os autores, a ferramenta pode ser utilizada de forma confiável, pois a mesma pode prever de forma relativamente satisfatória a ocorrência de eventos extremos, como as frequentes enchentes na região do Jari.

No entanto, estes resultados não podem ser considerados definitivos e de ampla utilização, pois as ferramentas de modelagem se baseiam em equações matemáticas que necessitam de constantes atualizações e ajustes. Além disso, é preciso que no cenário atual, a existência de mudanças climáticas pode provocar alterações significativas nas médias de precipitação (CUNHA et al., 2014).

A importância dos processos hidrológico na bacia do Rio Jari foi descrita por Oliveira e Cunha (2010), os quais realizaram um estudo voltado para análise de impacto social e econômica associada a dois eventos hidrológicos extremos ocorridos em 2000 e 2006 na bacia do rio Jari (AP). Os autores concluíram que a falta de infraestrutura em Laranjal do Jari e de uma rede de monitoramento eficiente para a alerta e prevenção aos eventos, foram os fatores

decisivos para remediar os efeitos indesejáveis em relação aos impactos econômicos e sociais na bacia do Jari (análise de risco).

Com o objetivo de propor uma análise sobre o padrão de precipitação espacial e temporal da bacia do Rio Jari-AP, considerando as suas características hidroclimáticas e geográficas, Silveira (2014) utilizou dados de precipitação coletados entre 1968 e 2012 nas estações: Cadam (estação particular - Jari), São Francisco (Jari), Jarilândia (Jari), Serra do Navio (Araguari), Kuxare e Tiriós (estas duas últimas no Estado do Pará). O autor considerou o resultado como "satisfatório", sugerindo que a distribuição mensal das chuvas na bacia do Jari não causaria tantos problemas se não houvesse tanta precariedade da infraestrutura das cidades ribeirinhas do Rio Jari. Portanto, os eventos hidrológicos naturais ou extremos que frequentemente ocorrem são intensificados pelo mau uso e ocupação da terra, pois, como o próprio autor afirma, há uma tendência de redução das chuvas nas últimas décadas, mas não é significativa. Portanto, as variáveis hidroambientais devem estar conectadas com a hidrometeorologia.

Estima-se que no rio Jari, a média da vazão no período de seca chega a aproximadamente $30 \text{ m}^3/\text{s}$ enquanto nos períodos de cheia, ou maior precipitação, os valores possam ultrapassar $3.500 \text{ m}^3/\text{s}$ (VISÃO AMBIENTAL, 2011).

2.3 VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS - VÍNCULOS COM A DINÂMICA HIDROLÓGICA

Os conceitos de qualidade da água não são especificamente ligados a sua pureza, mas sim às suas características físicas, químicas e biológicas. A análise periódica desses parâmetros em corpos d'água é essencial para o acompanhamento das condições ambientais das bacias hidrográficas, servindo como subsídio às tomadas de decisões que visem a conservação e o uso sustentável das águas.

Dentre os parâmetros físicos mais comuns da água, podem ser citados a temperatura, cor, turbidez, sabor e odor. A temperatura tem importância significativa porque atua de diversas formas nas reações químicas da água, influenciando na cinética química das reações biogeoquímicas, mas inclusive outros parâmetros, como cor, odor e a saturação do oxigênio (KRUPK et al., 2008).

O parâmetro cor da água fornece indícios dos fenômenos que podem estar ocorrendo nela, sendo naturais ou decorrentes da atuação humana. A coloração na água não indica que esteja ruim para o consumo, mas por questões visuais a água potável para consumo deve ser límpida, transparente e incolor (BRITO, 2008). Nos ecossistemas aquáticos a cor está relacionada com a concentração de nutrientes dos corpos d'água. Segundo Cunha (2013) as águas brancas (como as do rio Amazonas) são mais ricas em nutrientes, em contrapartida às águas pretas, apresentam-se com menos nutrientes disponíveis e normalmente mais ácidas. O Rio Jari apresenta características de águas verdes escuras à montante da futura UHESAJ e águas claras a jusante, sob influência do rio Amazonas.

A cor causada por matéria em suspensão, como o plâncton ou partículas suspensas, é chamada de cor aparente. O fitoplâncton pode conferir cores de tons de verde, azul esverdeado, amarelo, marrom ou vermelho, e as partículas do solo em suspensão podem produzir muitas cores diferentes na água (BOYD, 2000). Substâncias húmicas de origem orgânica normalmente resultam em coloração semelhante às de chá ou de café ou, quando reagem com o ferro, podem fazer surgir uma cor amarelada intensa. Águas altamente ácidas podem apresentar cores azul-esverdeadas, quando vistas da sua superfície (BOYD, 2000).

A presença dos sólidos pode ser dividida em sólidos suspensos totais (SST) ou sólidos totais dissolvidos (STD). O SST possui relação direta e proporcional com a turbidez, cor e a

transparência da água. O STD atua na modificação da salinidade e conseqüentemente na condutividade elétrica da água, que pode indicar indiretamente a presença de poluição ou desequilíbrio no corpo hídrico, pois na composição dos efluentes é possível encontrar íons em solução (BRITO, 2008).

A turbidez é um dos parâmetros que possui a capacidade de sugerir potenciais alterações da dinâmica hidrossedimentométrica, como consequência da erosão, relacionada às atividades humanas ou não (LUÍZÂ et al., 2012). O aumento da turbidez reduz as taxas de fotossíntese e prejudica a busca por alimento para algumas espécies, levando a um desequilíbrio na cadeia alimentar. Sedimentos podem transportar pesticidas, metais pesados e outros componentes tóxicos e sua deposição no fundo de rios e lagos prejudica as espécies bentônicas e a reprodução de peixes, além de causar assoreamento (BRITO, 2008; SÁ DE OLIVEIRA, 2012; CUNHA, 2013; SANTOS et al., 2014).

Os parâmetros químicos também são muito importantes para avaliar a qualidade da água. Os mais relevantes para o presente estudo são: oxigênio dissolvido (OD), pH, nitrogênio amoniacal, nitrato, cálcio, fósforo, magnésio, sulfato e cloreto.

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) é produto do balanço de massa entre oferta e consumo de oxigênio provocado pela reaeração física (hidráulica), fotossíntese (algas e vegetais) e estabilização da matéria orgânica (bactérias aeróbicas) sendo frequentemente utilizado para avaliar a qualidade da água em reservatórios e bacias hidrográficas por ser influenciado pela combinação de fatores físicos, químicos, biológicos, hidrodinâmicos e outros fluxos existentes, incluindo trocas entre frações de biomassa de algas, matéria orgânica (particulada ou dissolvida), amônia, sólidos suspensos voláteis e demanda de oxigênio do sedimento (RIXEN et al., 2012; SÁNCHEZ, 2007; VIGIL, 2003).

Através do balanço e do comportamento espacial-temporal do OD em um corpo d'água é possível determinar se há presença de poluição orgânica, pois a matéria orgânica é consumida pela oxidação química do oxigênio, bioquímica ou pela respiração de microorganismos (RIXEN et al., 2012). A poluição intensa, como o lançamento de esgotos sanitários sem tratamento, provoca alterações significativas nas concentrações de OD podendo resultar em desequilíbrios do ecossistema, ocasionando mortalidade de peixes, danos estéticos e exalação de odores (SHRIVASTAVA et al., 2000).

Outro aspecto importante quanto ao consumo de OD, por exemplo, é que apresentam um papel significativo no balanço de carbono em termos regionais e nos processos de degradação biológica da matéria orgânica proveniente das cabeceiras das bacias hidrográficas (lignina e derivados de macromoléculas de origem terrestre) (BRITO, 2013; WARD et al., 2013). Os referidos autores estimam que algo em torno de 55% de toda a lignina produzida na floresta amazônica é potencialmente oxidada na água antes de ir para o Oceano Atlântico. Este dado mostra a importância do OD e da DBO (ciclo do Carbono) na biogeoquímica aquática tropical em diversos rios do globo.

Em contrapartida a oferta de OD (autodepuração física e a fotossíntese, etc), a demanda biológica de oxigênio (DBO) é um parâmetro que engloba muitas possíveis demandas de OD contidas na água. Ward et al. (2013) observaram em amostras de água do rio Amazonas que cerca de 3 mil diferentes tipos de macro-moléculas podem estar presentes em uma única amostra. Em seu estudo, cerca de 220 foram produzidas e identificadas na própria incubação da amostra e aproximadamente 300 são consumidas simultaneamente. Se observarmos, em termos estequiométricos, a DBO é uma representação do consumo de muitas destas moléculas (respiração) exercidas pela ação de bactérias aeróbicas presentes na água.

Portanto a determinação da DBO_(5 dias, 20 °C) (e suas variações) tem sido um dos métodos mais utilizados e comuns para avaliar cargas orgânicas biodegradáveis na água naturais e

águas residuais. Um nível elevado de DBO em um corpo de água pode significar uma potencial diminuição da concentração de oxigênio, que pode provocar efeitos negativos sobre a biodiversidade aquática superior (peixes, principalmente) (UDEIGWE; WANG, 2010).

O pH descreve a quantidade de íons contidos em uma solução. E em muitos rios este parâmetro pode variar entre 6 e 8, faixa esta satisfatória para a sobrevivência dos organismos aquáticos. Caso o pH seja modificado por atuação natural ou humana, poucos organismos aquáticos irão sobreviver, modificando totalmente a diversidade do corpo d'água (VIGIL, 2003). É importante salientar que o pH está fortemente relacionado também com o balanço de carbonatos na água (BRITO, 2013), sendo uma das forças motrizes que desencadeiam o fluxo de carbono na água e sua interação com o sedimento e a atmosfera. Além disso, apresenta variação significativa no ciclo hidrológico, tendendo a apresentar água mais ácida no período chuvoso e mais alcalina no período seco.

O nitrogênio, em suas diversas espécies (NH_4^+ , NO_3 , NO_2), é um nutriente limitante, pois as reações biológicas dependem da quantidade desse elemento presente no corpo d'água. O seu estado pode determinar a idade ou o tempo de poluição da amostra do corpo d'água. É muito frequente afirmar que, caso a amostra possua alto nível de amônia ou nitrogênio orgânico e, em contrapartida, pouco nitrito e nitrato, a amostra pode estar representando um ambiente com poluição recente. Por outro lado, se a quantidade de amônia e nitrogênio orgânico for baixa, a amostra poderá ser considerada sem poluentes (TEBBUTT, 2002) ou que esta já passou para um estado mais oxidado, como NO_3 e NO_2 .

O fósforo também é um elemento essencial ao ciclo de vida aquática, e é normalmente mais restritivo do que o nitrogênio. Sua concentração está relacionada ao nível de eutrofização dos rios e permite o cálculo do Índice de Eutrofização (IET), além de ser considerado um dos principais poluentes em áreas agrícolas (ALMEIDA et al., 2012). As algas, em particular, podem crescer rapidamente quando os níveis de nitrogênio e fósforo são altos (nutrientes primários que influenciam o crescimento e o seu desenvolvimento) como as espécies cianobactérias que produzem toxinas prejudiciais à saúde humana e animal (ALMEIDA et al., 2012; CUNHA et al., 2013a). Como uma das formas de se avaliar a qualidade da água é a utilização do Índice de Estado Trófico (IET), calculado através do fósforo, o objetivo é classificar os corpos d'água de acordo com o seu nível trófico, mas frequentemente utilizam-se resultados encontrados para fósforo total, sendo este último aceitável para realizar o cálculo de IET.

Os parâmetros biológicos compreendem os microrganismos indicadores da qualidade ecológica e sanitária de um ambiente. No presente estudo a ênfase é dada para três parâmetros: coliformes totais, coliformes fecais e concentração de algas (clorofila-a).

Coliformes Termotolerantes (CT) são bactérias que podem ser encontradas em fezes de animais de sangue quente, mas também em água e solos não poluídos, e a mensuração desses microrganismos pode avaliar a eficiência dos processos de tratamento da água, a integridade do sistema e a sua distribuição, assim como é utilizada como teste de rastreio para a contaminação fecal recente (LETTERMAN, 1999).

Dentre os coliformes fecais, as bactérias termotolerantes, abundantes em fezes humanas e animais, merecem destaque a *Escherichia coli*, cuja detecção laboratorial é simples e sua presença na amostra é garantia de contaminação fecal. A descarga de resíduos de esgotos é um dos mais importantes fatores que influenciam a qualidade da água, pois contém fezes humanas e microrganismos potencialmente patogênicos e perigosos para a saúde humana quando ingeridos ou usados na preparação de alimentos (OSBILD, 2008).

Já o fitoplâncton constitui a base da cadeia alimentar de muitos sistemas dentro do corpo d'água, e pode ter uma elevada contribuição na produção primária. Estes

microrganismos são um dos principais responsáveis pelo fluxo de energia e ciclagem de nutrientes nos ecossistemas aquáticos. Por esses motivos, o mesmo tem sido estudado por pesquisadores de limnologia em rios e pequenos cursos de água (CUNHA, 2012; CUNHA et al., 2013; POMPEO, 1996).

Diversos ecossistemas limnéticos podem ser monitorados utilizando microalgas (clorofila-a) como indicadoras de qualidade da água. A sua riqueza, diversidade, abundância, dominância, bem como os níveis de clorofila-a, e sua relação com os nutrientes e a correnteza da água (hidrodinâmica), fornecem informações relevantes sobre o funcionamento e equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Assim, sua variação está frequentemente relacionada com os pulsos hidrológicos naturais, mas também com a tipologia e intensidade da poluição empreendida ao curso d'água (CHELLAPPA, 2001).

Devido à grande complexidade e diversidade de fatores que podem causar variações nos índices de qualidade da água, são necessários métodos estatísticos que possam alinhar sua variação espacial e temporal em função de outros parâmetros (COLETTI et al., 2010; SANTOS et al., 2014).

3 HISTÓRICO DE MONITORAMENTO PARA AIA DE UHE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JARI

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), no Brasil, existem 12 regiões hidrográficas. As principais são: Amazônia, Araguaia-Tocantins, Paraná, Paraguai e São Francisco. A região hidrográfica Amazônica é constituída pela bacia hidrográfica do rio Amazonas, situada no território nacional, pelas bacias dos rios existentes na Ilha de Marajó, além das bacias dos rios situadas no Estado do Amapá, que deságuam no Atlântico Norte, perfazendo um total de 3.869.953 km² (Resolução CNRH n° 32, de 15 de outubro de 2003).

Inserido na Amazônia, o Estado do Amapá possui um território de aproximadamente 140.276 km² e faz fronteira com o Estado do Pará e com os países Suriname e Guiana Francesa. Sua condição geográfica permite alta diversidade biológica (megabiodiversidade) em ambientes naturais (DIAS, 2013), pois está ligado a duas grandes regiões influenciadoras: a Amazônica e o Oceano Atlântico (CUNHA et al., 2010).

O Estado do Amapá possui 62% do seu território preservado através de unidades de conservação (UCs) como áreas de proteção ambiental, reservas legais, territórios remanescentes de quilombos (assentamentos brasileiros fundados por escravos fugidos ou libertos) e terras reservadas para uso por tribos indígenas (Figura 1), constituindo-se proporcionalmente no estado ecologicamente mais preservado no país (CUNHA et al., 2013).

Na Figura 1 é possível observar a importância da conservação dos ecossistemas aquáticos da bacia do rio Jari para as UCs nela inseridas e ameaçadas por empreendimentos econômicos.

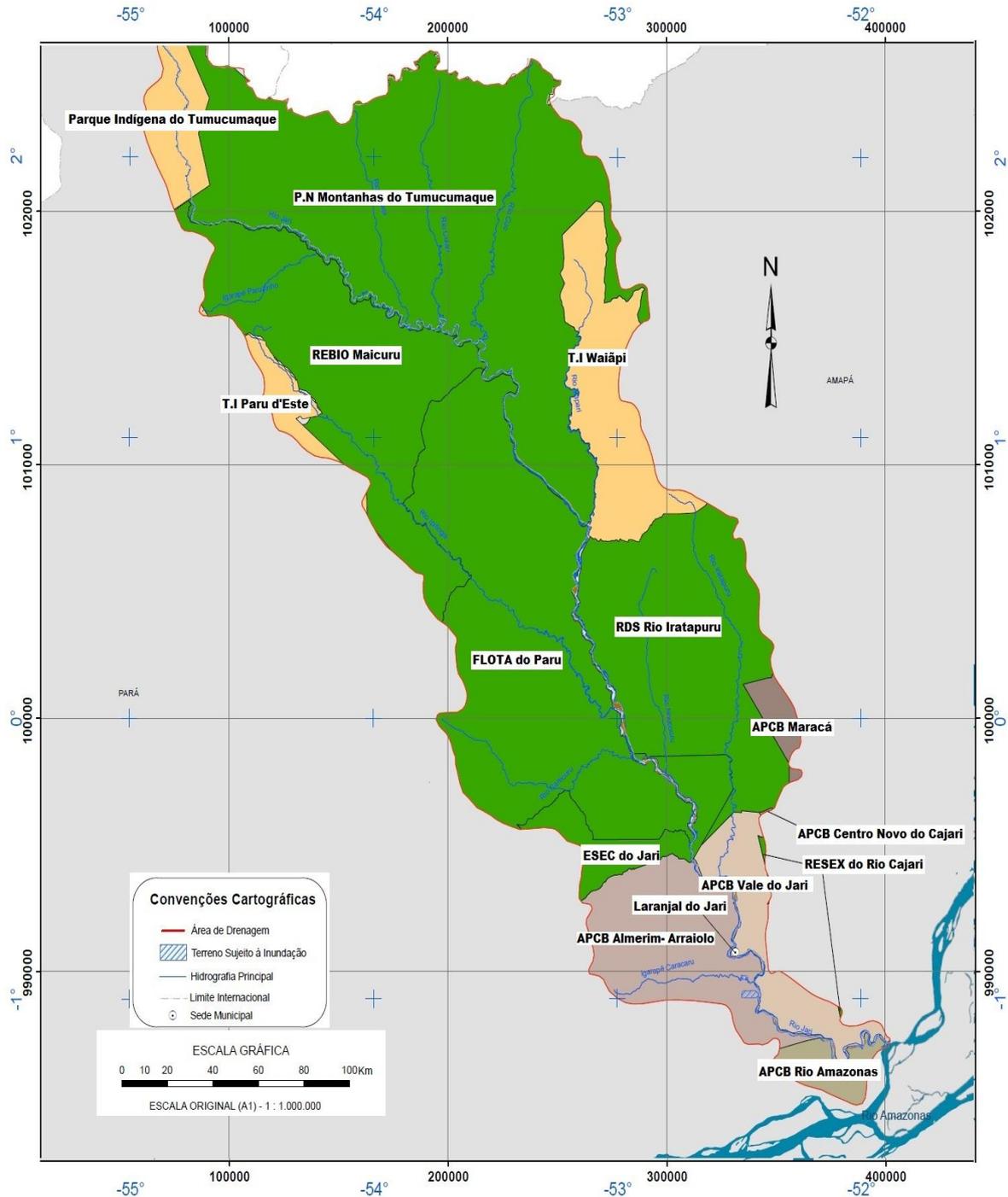


Figura 1: Áreas de conservação e terras indígenas
Fonte: Adaptado de HYDROS ENGENHARIA, 2010

A rede de bacias hidrográficas do Amapá é constituída de muitos rios (34 bacias - 28 continentais e 6 insulares) que se destacam pela sua importância econômica e que, na sua maioria, deságuam no Oceano Atlântico e no rio Amazonas. Dentre eles podem ser citados os rios: Araguari, Oiapoque, Pedreira, Gurijuba, Cassiporé, Vila Nova, Jari, Matapi, Maracapú, Amapari, Amapá Grande, Flexal, Tartarugalzinho e Tartarugal Grande.

O clima na região é determinado e influenciado pela sazonalidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), pela grande capacidade de evapotranspiração da floresta,

pelo El Niño e pelos ventos alísios que carregam umidade do Oceano Atlântico para a região norte do Brasil (LUCAS et al., 2010; NEVES et al., 2012; SANTOS, 2012).

A média pluviométrica geral e anual registradas por instituições ou empresas próximas das cidades ao redor do rio Jari é alta, onde os maiores índices registrados nas estações meteorológicas foram em São Francisco (2.325mm), Carecuru (2.345mm) e Monte Dourado (2.347mm). Os menores foram observados no Iratapuru (2.051mm), São Pedro (2.022mm) e Pilão (1.998mm). O trimestre mais chuvoso ocorre nos meses de março, abril e maio, onde o total precipitado alcança 41,6% do acumulado no ano. Os meses de setembro, outubro e novembro apresentam os menores índices de chuva, correspondendo a 7,4% do total precipitado. Baseando-se em dados de precipitação entre 1968 e 2012, é possível afirmar que a variação média anual de precipitação na bacia do Jari ocorre entre 2.550 e 1.850mm (SILVEIRA, 2014; SOBRINHO, 2012).

O Rio Jari é um divisor entre os estados do Amapá e do Pará (Figura 2) e nesta intersecção possui aproximadamente 800 km de comprimento, dos quais 110 km são navegáveis com possibilidade de acesso a navios longos - baixo Rio Jari - objeto principal do presente estudo. Os principais sítios de passagem do Rio Jari são: Santo Antônio da Cachoeira (AP), Laranjal do Jari (AP) e Vitória do Jari (AP). Os principais tributários da bacia do Rio Jari que concorrem para a disponibilidade de suas águas são representados na margem esquerda pelos Rios Curap, Colari, Cuc, Mapari, Noucouru e Iratapuru, e na margem direita pelos Rios Ipitanga e Carecuru, e igarapé Caracaru (Figura 2) (HYDROS ENGENHARIA, 2010).

O trecho do canal principal, dos 150 km entre a foz e a cachoeira de Santo Antônio (próximo da futura UHESAJ), compreende 3.000 km², ou 5,1% da área da bacia e o trecho de montante à referida cachoeira (próxima da UHESAJ) equivale a 94,9 % (cerca de 51 mil km²). Essa região biogeográfica é bastante geologicamente acentuada, permitindo a compreensão de diversos aspectos ambientais da região (VISÃO AMBIENTAL, 2011).

Do ponto de vista dos principais impactos ambientais que ocorrem na bacia, em sua maioria significativa, ocorrem no seu baixo curso (área designada pelo retângulo da Figura 2). Do lado do Amapá, as principais cidades ao longo do rio Jari são Laranjal do Jari, com aproximadamente 40 mil habitantes e área 31 mil km², e Vitória do Jari, com 12,5 mil habitantes e área de 2.483 km². Devido a sua localização, a bacia hidrográfica do rio Jari, no seu baixo trecho, tem se mostrado bastante vulnerável às adaptações das variações climáticas extremas, como as cheias e alagamentos registradas por Cunha e Marques (2008).

Do lado do Pará, encontra-se a cidade de Monte Dourado, município de Almeirim, que dispõe de sistemas de abastecimento e esgotamento sanitários, sendo considerado um centro urbano planejado, fato este raro na Amazônia. Contudo, a contribuição de cargas sanitárias de Monte Dourado parece não apresentar significativos impactos de poluentes no rio Jari, pois trata seu esgoto, o que não ocorre com as cidades amapaenses Vitória e Laranjal do Jari (OLIVEIRA; CUNHA, 2014).

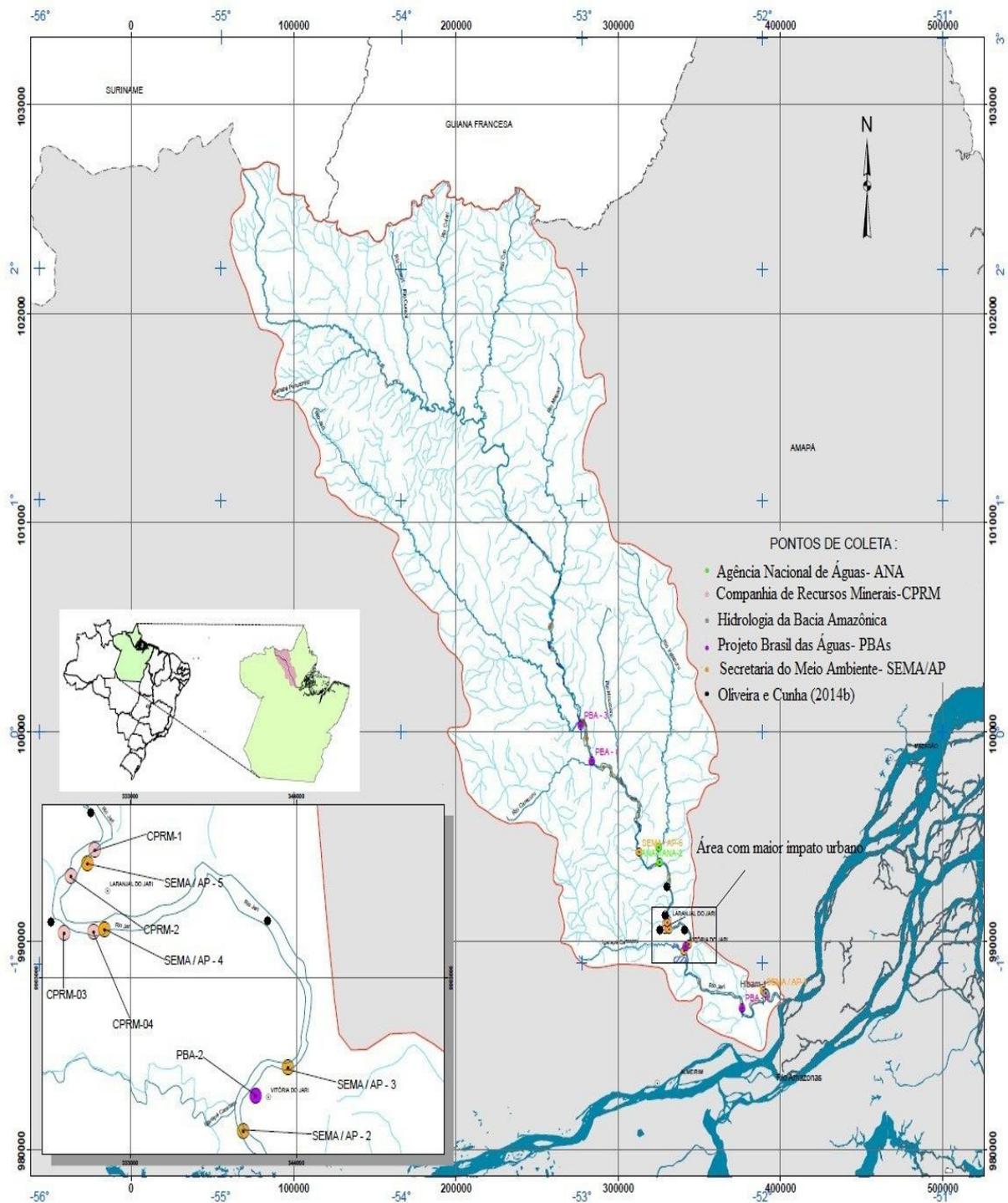


Figura 2: Bacia Hidrográfica do Rio Jari, seus tributários e pontos de coleta Hydros Engenharia (2010) e Oliveira e Cunha (2014) representando o atual estado da arte do sistema de monitoramento da qualidade da água entre 2005 e 2014, indicada pelo quadro inferior à direita.

Fonte: Adaptado de HYDROS ENGENHARIA, 2010

Além do problema de poluição sanitária pontual e difusa que ocorrem no baixo trecho da bacia, é importante considerar que o cultivo de eucalipto para produção de celulose da indústria de papel (ver destaques nos retângulos na figura - urbano UHE e indústrias), há

também indústrias de extração e produção de caulim. Ambas aparentemente parecem influenciar pouco nas respostas de qualidade da água no baixo trecho mais afetado.

3.1 PESQUISAS SOBRE HIDROLOGIA E QUALIDADE DA ÁGUA REALIZADAS NO ESTADO DO AMAPÁ, COM DESTAQUE AO BAIXO RIO JARI.

No Estado do Amapá, nos últimos 10 anos, os parâmetros da qualidade da água têm sido monitorados e estudados em diversas bacias, considerando a distribuição espacial-sazonal dos parâmetros mais usuais já citados (BÁRBARA et al., 2010; BRITO, 2008; CUNHA et al., 2004; CUNHA et al., 2010; CUNHA et al., 2011; CUNHA et al., 2012; CUNHA et al., 2013a; CUNHA, 2013; SANTOS et al., 2014).

Na maioria dos casos citados, visa-se não só o monitoramento da qualidade da água, mas a aplicação e o uso de sistemas de modelagem e simulação a partir de modelos pré ou completamente calibrados, com fins de avaliação de proposição de cenários de impactos ambientais de UHEs, incluindo os impactos de indústria e crescimento de centros urbanos sobre os respectivos corpos d'água afetados (BRITO, 2008). Além de estudos científicos de outras bacias do Estado do Amapá que servem como referência comparativa entre parâmetros comuns, empresas de consultoria ambiental e órgãos públicos também têm disponibilizado informações sobre qualidade d'água, com o intuito de avaliar o estado atual e possíveis variações das mesmas após implantação de hidrelétricas.

No presente artigo, foram destacadas as informações da literatura mais úteis ao presente propósito, como a proposição de novos estudos, diagnósticos e futuros planos básicos ambientais (PBAs). Tais planos ou PBAs são normalmente designados por força de lei ou acordos antes, durante ou após ocorrência de impactos ambientais devido a instalação e operação de UHEs, mesmo naquelas ditas a "fio d'água", com reservatórios de tamanho relativamente reduzidos (sem reservação) (SANTOS; CUNHA, 2012).

No caso da instalação da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio do Jari interessa conhecer a linha básica referente ao estado atual da qualidade da água e sua relação com os aspectos ecológicos e hidrológicos no rio Jari, especialmente no seu baixo curso, onde se encontram os ambientes mais impactados pelo uso e ocupação do solo. Em sequência cronológica de publicação, os principais estudos podem ser resumidos e descritos na Tabela 1.

Tabela 1 Estudos limnológicos de interesse para o presente estudo na bacia do Rio Jari entre 2003-2014

Autor (Ano)	Destaque do Estudo
ANA (1976-2006)	Monitoramento da qualidade da água
SEMA/AP (2006)	Monitoramento da qualidade da água
Ecology and Environment do Brasil LTDA (2009)	Relatório de Impacto Ambiental para instalação UHE Santo Antônio do Jari
Hydros Engenharia (2010)	Relatório de Impacto Ambiental para instalação UHE Santo Antônio do Jari
Lucas et al. (2010)	Análise precipitação-cota hidrológica na bacia do rio Jari
Visão Ambiental (2011)	Relatório de Impacto Ambiental para instalação UHE Santo Antônio do Jari
Silveira(2013)	Estudo hidroclimático de distribuição de precipitação na bacia do Rio Jari
Oliveira e Cunha (2014b)	Estudo e Análise de Riscos de Enchente no rio Jari – AP
Oliveira e Cunha (2014a)	Estudo sobre qualidade da água no Rio Jari e sua relação com a precipitação

A Agência Nacional de Águas (ANA) possui várias estações de monitoramento pluviométrico, climatológico e fluviométricos nos rios brasileiros que possuem a capacidade de coletar alguns dados relacionados aos parâmetros de qualidade da água. As coletas feitas especificamente no rio Jari são obtidas da estação São Francisco (ANA-19150000). As coletas tiveram início em 1976 e terminaram em 2006.

A Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amapá (SEMA-AP) monitora desde 2006 os parâmetros de qualidade da água em 6 pontos distintos ao longo do rio Jari, com o objetivo de analisar os parâmetros de qualidade da água. Seguindo a sequência temporal histórica da Tabela 1, em 2009, foi desenvolvido pela Ecology and Environmentdo Brasil LTDA o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), que serviram de referência inicial e subsídio à instalação da UHESAJ.

A empresa Hydros Engenharia publicou em 2010 um Estudo de Inventário Hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do rio Jari, com o objetivo de fazer levantamento ambiental, diagnóstico sócio-ambiental e avaliação de impactos ambientais para a instalação da UHE de Santo Antônio do Jari (HYDROS ENGENHARIA, 2010). O relatório produzido pela empresa caracterizou a área estudada, identificou as áreas protegidas e realizou um estudo limnológico do rio entre 2007 e 2008, além de citar pesquisas realizadas por projetos e órgãos governamentais entre 1996 e 2005 (Tabela 2).

Ainda em 2010, Lucas et al. (2010) publicaram um estudo voltado para a hidrologia do rio Jari e sua relação com a cota e precipitação. Os autores basearam-se em um estudo de caso de evento extremo ocorrido em 2000, onde existiram variações significativas da vazão para aquele ano resultante de uma precipitação extrema.

A empresa de consultoria Visão Ambiental realizou outro estudo voltado para a análise de qualidade da água na região da UHE Santo Antônio do Jari em 2011. A análise se deu entre julho e outubro de 2011, e, de acordo com a Visão Ambiental (2011), os resultados foram "satisfatórios" em relação ao ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) para o local onde seria instalada a UHE. Mas não comentou sobre quais mudanças iriam ocorrer após a construção e a jusante.

Na sequência, Silveira (2014) elaborou uma análise espacial-mensal da distribuição da precipitação média acumulada na bacia do rio Jari, mas apenas utilizando informações de estações da bacia do rio Jari e do Estado do Pará (extrapolação), concluindo que nas últimas três décadas está ocorrendo um longo e suave declínio da precipitação anual média (tendência para eventos de seca). Em outras palavras, há informações sobre a distribuição espacial das chuvas, mas poucas informações sobre suas repercussões na qualidade da água.

Oliveira e Cunha (2014a) publicaram um estudo sobre análise de risco observando os impactos socioeconômicos, como consequência das enchentes que podem ocorrer em eventos extremos com períodos de recorrência de 4 a 6 anos, em cidades como Laranjal do Jari que está localizada na margem esquerda do rio Jari .

Finalmente, Oliveira e Cunha (2014b) publicaram um estudo acadêmico específico sobre qualidade da água relacionando-a com a precipitação na bacia. Suas campanhas foram mensais e realizadas entre 2009 e 2010 com foco nos parâmetros da qualidade da água do rio Jari, também considerando o ciclo hidrológico completo na bacia. Os referidos autores utilizaram-se de séries históricas de precipitação do mesmo período em que foram realizadas as campanhas de qualidade da água.

3.1.1 Detalhamento dos resultados sobre a qualidade da água na bacia do rio Jari (2005-2014)

O resumo de todas as análises das referidas referências pode ser encontrado na Tabela 2 com uma série de valores de referência, e as notáveis lacunas ou ausência de dados em diversos períodos de monitoramento. Estes últimos estão indicados pela sigla "ND". Foi considerada a média dos valores máximos encontrados durante os períodos de estiagem e chuvoso para cada um dos trabalhos, levando em consideração os parâmetros mais importantes para análise da qualidade da água do Rio Jari e o período em que foram realizadas as campanhas.

Tabela 2: Média dos valores máximos encontrados durante as campanhas realizadas por Hydros Engenharia (2010) e Oliveira e Cunha (2014) para o período de estiagem e chuvoso.

Parâmetros	ANA/Projeto Brasil das Águas (2003-2005)	SEMA-AP*/ Hibam* (2003-2006)	Hydros Engenharia (2007-2008)	Oliveira e Cunha (2014) (2009-2010)	Visão Ambiental (2011)
Estiagem / Chuvoso					
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	37 / 47	32,5 – 39	ND	33 / 33	36/34
SST (mg/L)	ND	15,5 -8,7*	ND	16 / 11	21/16
STD (mg/L)	ND	ND	ND	0,0155 / 0,015	<1
Temperatura °C	ND	ND	ND	31 °C / 27°C	31/25
Turbidez-NTU	ND	9,7 – 11	ND	11 / 11	18/4
Cor (mg. Pt/L)	ND	ND	ND	140 / 150	82/30
DBO (mg/L)	ND	ND	ND	6 / 2,0	2,0/1,1
OD (mg/L)	6,1 / 8,0	5,2 - 7,4	ND	8,5 / 7,5	6,2/9,1
(P)Total- mg/L	ND	ND	0,014 / 0,036	ND	0,14/0,03
Amônia mg/L	ND	0,3 - 0,4	NA	0,39 / 0,43	0,5/0,25
Nitrato mg/L	ND	0,6 -1,3	NA	0,4 / 0,46	0,7/1,7
pH	6,8/6,5	6,6 - 7,02	NA	7,6 / 7,4	7,5/7,3
Magnésio mg/L	1,42/ ND	ND	3,0 / 5,12	ND	NA
Cálcio mg/L	2,34/ ND	ND	4,44 / 4,44	ND	NA
Sulfato mg/L	ND	ND	ND	ND	1,8/1,4
Cloreto mg/L	ND	ND	ND	ND	7/7
Clorofila A	ND	ND	ND	ND	NA
CT/ 100 ml	ND	1000 – 5000	ND	2250 / 2250	NA
<i>E. Coli</i> 100ml	ND	ND	ND	100 / 300	400/400
IET	52 / 56,4	ND	48 / 52	ND	49,9/46,7

* Resultados obtidos de Hydros Engenharia (2010). ND: Não disponível

As campanhas limnológicas realizadas pela Hydros Engenharia, apenas a partir de dezembro de 2007 até maio, julho e novembro de 2008, foram realizadas para incluir o período entre seco e chuvoso no Rio Jari. Por exemplo, os pontos de coleta (Figura 2) da campanha limnológica foram selecionados com o objetivo de descrever as características da água ao longo da bacia hidrográfica, levando-se em consideração os dados anteriores (Tabela 2), mas principalmente considerando a localização do empreendimento hidrelétrico, o uso do solo, as condições de acesso e a ação antrópica na região (HYDROS ENGENHARIA, 2010).

Numa segunda etapa histórica, a Visão Ambiental (2011) afirma que poucos fatores relacionados aos aspectos físico-químicos estavam fora dos parâmetros estabelecidos pelo CONAMA (357/2005), onde demonstraram que a cor verdadeira apresentou valor acima de 80 mg.Pt/L, em outubro de 2011, sendo que o limite permitido é de no máximo 75 mg.Pt/L. Da mesma forma, em outubro o valor do fósforo total observado foi de 0,14 mg/L, para um valor limite menor que 0,1 mg/L. Os parâmetros restantes, analisados pela Visão Ambiental, são descritos na Tabela 2, aparentemente dentro da normalidade.

Na sequência histórica, Oliveira e Cunha (2014) realizaram estudos entre novembro de 2009 e novembro de 2010, observando a variabilidade climática da região como, por exemplo, se neste referido período a precipitação poderia ser considerada como normal, isto é, sem eventos climáticos adversos. Os pontos de coleta escolhidos foram distribuídos de forma a captar as máximas influências das cidades vizinhas sobre a qualidade da água. Assim, os referidos autores correlacionaram pela primeira vez os parâmetros limnológicos da água com os índices pluviométricos da região, de modo que observaram que a cor, os níveis de ferro, e o número ou a presença de CT e *E. coli* sofrem influências significativas da precipitação (OLIVEIRA; CUNHA, 2014b). Observaram também significativa alteração espacial-temporal na qualidade da água do rio no seu trecho de jusante, mas sugeriram que a causa da variação seria o despejo de esgotos domésticos em águas fluviais das cidades de Laranjal e Vitória do Jari, ou em suas proximidades. Foram encontrados valores acima de 2.000 CT/100 mL (Valor Legal Máximo \approx 1.000CT/100 mL), mostrando sensível deteriorização da qualidade da água no trecho.

Assim foi estabelecido um conjunto de dados de referência da qualidade da água na bacia. E, de fato, verifica-se que há variação físico-química e microbiológica, tanto espacial-temporal quanto sob a influência dos principais empreendimentos. No referido estudo o foco principal foi avaliar a variabilidade da precipitação média mensal em um trecho crítico de 36 km de distância, incluindo a cidade de Laranjal do Jari. De acordo com Oliveira e Cunha (2014), bem como sua interpretação sobre a vulnerabilidade socioambiental e riscos hidroclimáticos sobre a qualidade da água na referida bacia hidrográfica, tais valores poderiam ser futuramente comparados logo após o início da operação da UHESAJ.

A relevância do estudo de Oliveira e Cunha (2014b) é não repetir o que ocorreu com a construção da UHE de Coaracy Nunes (rio Araguari - 1976), em que valores de referência básicos nunca haviam sido obtidos. E, assim, nenhuma pesquisa foi feita para se saber qual seriam as condições da qualidade das águas do rio Araguari antes da construção da referida usina (CUNHA, 2013).

O presente estudo, portanto, dispõe de informações básicas mínimas para que esta lacuna não se repita em relação a UHESAJ. Nos estudos de Oliveira e Cunha (2014) a principal diferença em relação aos anteriores (Tabela 2) foi a frequência da coleta e análises dos dados de qualidade da água realizadas com frequência mensal. Além disso, quando os parâmetros foram correlacionados com a precipitação média mensal na bacia, houve o cuidado adicional em que os autores verificaram se o ano das referidas campanhas não teria sido durante um evento extremo de precipitação ou seca. A idéia principal do estudo foi analisar as variações dos parâmetros da qualidade da água, mas sem a influência de eventos anormais que poderiam ter sido um fator preponderante dessas variações.

Neste contexto, e de acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, é possível observar que, em geral, os resultados encontrados para a condutividade elétrica da água (CE) se mantiveram sempre estáveis tendo como exceção os resultados encontrados pela ANA em coletas realizadas entre 1996 e 2005.

Em relação aos valores de SST observa-se o aumento gradual temporal em sua concentração. Por exemplo, entre 2003 e 2011 ocorreu um aumento de 400% deste parâmetro no período de estiagem. Tal aumento pode estar associado diretamente à destruição de matas ciliares, assoreamento e erosão das margens do rio Jari, causados pela instalação da UHESAJ cujo início foi exatamente nesse período.

Curiosamente somente Oliveira e Cunha (2014) e Visão Ambiental (2011) (Tabela 2) destacaram medidas de temperatura da água durante os períodos de coleta, apesar da importância deste parâmetro no equilíbrio químico e na cinética de reações químicas que

podem ocorrer no corpo hídrico. No entanto, este parâmetro não variou de forma significativa em nenhum dos resultados apresentados nos estudos anteriores.

Da mesma forma que ocorreu para o parâmetro SST, o parâmetro Turbidez apresentou um aumento gradual até o ano de 2011. O aumento deste parâmetro pode estar associado aos mesmos fatores atuantes no aumento da SST. Este parâmetro somente foi analisado por Oliveira e Cunha (2014) e Visão Ambiental (2011), e os resultados encontrados pelas duas pesquisas mostram-se elevados (Tabela 2) para o período de estiagem. No entanto, somente Oliveira e Cunha (2014) mostraram um elevado valor durante o período chuvoso e este resultado seria o mais esperado para o período, conforme observado em outros rios do Amapá (CUNHA et al., 2004; SANTOS et al., 2012).

Os valores de DBO, também avaliados somente por Oliveira e Cunha (2014) mostram que durante o período de estiagem observam-se valores acima do permitido pelo CONAMA (357/2005). Por outro lado, com exceção da referência Hydros Engenharia (2010) o valor do OD foi analisado por todos os autores e projetos de pesquisa, mostrando que este parâmetro é realmente de fundamental importância para a análise da qualidade da água. Até o ano de 2011, os valores deste parâmetro se mantiveram satisfatórios sempre maiores que os limites mínimos exigidos pelo CONAMA (357/2005), ou seja, 5mg/L.

O fósforo total analisado pela Hydros Engenharia (2010) e a Visão Ambiental (2011) é um indicador do nível de nutrientes, e os resultados mostraram uma baixa concentração média nos trechos analisados pelas pesquisas (Tabela 2). Entretanto, não foi explicitado pelos demais autores qual o motivo pelo qual não foram realizadas as análises para este parâmetro, apesar de sua fundamental importância ecológica e ambiental e utilidade para a determinação da capacidade suporte em corpos hídricos e IET.

Assim como o fósforo, a amônia faz parte dos nutrientes fundamentais para os ecossistemas aquáticos e seu valor encontrado durante os referidos anos de coleta foram determinados por vários autores e empresas de consultorias, os quais demonstram que este se mantém satisfatório (máximo 3,7 mg/L).

Os resultados do pH descrito na Tabela 2 mostraram uma sensível variação entre o estado básico e levemente ácido, provavelmente associada às alterações químicas causadas por despejo de produtos químicos ou variações hidrológicas. É possível observar que a variação do pH esteve levemente maior nos períodos de estiagem em relação aos períodos chuvosos, sendo este resultado um provável efeito da fotossíntese realizada pelas algas presentes na água, como também foi observado por Brito (2013) no rio Amazonas.

A concentração do magnésio e cálcio indica a dureza da água e pode estar associada diretamente com problemas de despejo de esgoto sanitário no corpo hídrico. Segundo os resultados encontrados e citados na Tabela 2, nenhuma das pesquisas apresentou os valores da dureza, demonstrando de forma isolada os valores do cálcio e magnésio, provavelmente porque estes dois íons são os mais importantes. Mas é preciso destacar que a produção de caulim está intimamente associada com a disponibilidade de cálcio na água.

Em relação aos parâmetros microbiológicos, os resultados apresentados pelos autores demonstram que os valores de CT sempre se mostraram acima de 1000 CT/100mL e este resultado indica uma covariância com a descarga de matéria orgânica ao longo de todos os pontos de coleta no rio Jari, cuja carga oriunda provável é o próprio solo. Esse tipo de variação também foi observada por Cunha et al., (2004) ao analisar quatro rios do estuário amazônico próximos das cidades de Macapá e Santana (Matapi, Vila Nova, Fortaleza e Paxicu) afluentes da margem esquerda do rio Amazonas, como o rio Jari. Segundo os referidos autores, no entanto, a pluma de carga microbiológica tinha sua concentração reduzida na medida em que se afastavam dos centros urbanos. Mas mesmo os rios de área

rural (Vila Nova e Matapi) as concentrações CT sempre se mostraram elevadas. O referido estudo foi conduzido mensalmente durante 3 anos consecutivos e pode ser um valor de referência para outros estudos, como a presente pesquisa. Estima-se que as cargas microbiológicas do rio Jari também tenham origem tanto natural (solos carregados por chuvas nas florestas tropicais) quanto nas áreas antropizadas, sendo normalmente maiores durante o início do período chuvoso, com variantes sazonais.

No rio Jari, similarmente, este comportamento ocorre em relação ao parâmetro *E.coli*, que sempre esteve acima de 100 NMP/100mL. Este valor está abaixo do recomendado pelo CONAMA (357/2005) para rios de classe II, mas muito acima do recomendado pelo Ministério da Saúde, que considerada para água para consumo humano com total ausência de *E.coli*.

Finalmente, os valores encontrados para o IET (nível de eutrofização), durante as pesquisas realizadas por esta revisão no rio Jari, sugerem que as águas se encontram com classe de ambientes variando entre oligotróficos, mesotróficos e ultraoligotróficos independente dos pontos de coleta e da variação temporal. Logo, o corpo hídrico do trecho em estudo pode apresentar variação entre baixas concentrações de nutrientes e baixa produtividade primária, produtividade intermediária com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas ainda em níveis aceitáveis. Este é o cenário de complexidade da variação da qualidade da água na bacia do rio Jari.

4 CONCLUSÃO

No período de estudo, entre 2006 e 2011, a qualidade da água no baixo trecho da bacia do rio Jari mostra sensíveis variações ou modificações na média dos seus principais parâmetros monitoradas. Com base na presente revisão da literatura e no monitoramento realizado em estudos de impacto ambiental (EIAs), algumas conclusões podem ser elencadas a seguir:

1) Há necessidade de incluir ou otimizar metodologias de monitoramento e gestão das águas que considerem a relação espacial-sazonal e a influência hidrológica para definir estratégias efetivas de planejamento e gestão de conservação da biodiversidade aquática (causa-efeito na qualidade da água).

2) Fica evidente o papel da hidrologia/hidrodinâmica sobre os parâmetros ecológicos mais estudados (OD, DBO, pH, etc.), mas também como esta dinâmica influencia a taxa de renovação das águas em trechos específicos (sítios monitorados). A literatura da área mostra que parâmetros como vazão (ou cota da lâmina d'água), devem ser integrados para melhor avaliar o papel do ciclo hidrológico sobre a qualidade da água, além das forçantes antrópicas.

3) Quando são comparados resultados apresentados por empresas de consultoria ambiental, os quais consideraram principalmente a instalação da UHESAJ, e estudos independentes posteriores, considera-se a barragem como o principal fator gerador de impactos atuais e futuros sobre os ecossistemas aquáticos do baixo Jari, onde as cidades de Laranjal do Jari e Vitória do Jari podem também ser considerados pontos críticos da bacia que perturbam a dinâmica da qualidade da água.

4) A literatura consultada mostrou que o aspecto mais relevante dos estudos anteriores e atuais é a existência de correlação entre a variação sazonal da precipitação média mensal com parâmetros de qualidade da água. Isto é, uma correlação entre a variação da qualidade da água segundo as variações do ciclo hidrológico. Do ponto de vista ecológico e sanitário alguns autores identificaram altos valores para CT e *E. coli* nos períodos mais chuvosos, sendo este último associado ao despejo de esgotos, indicando que a "linha de base" atual da

qualidade da água já pode estar em curso de mudança em relação aos processos de modificação ambiental do referido trecho estudado no rio Jari.

5) Ainda não é possível identificar qual é o padrão de despejo de efluentes ou esgotamento sanitário no trecho do baixo rio Jari apenas com base no monitoramento espacial da bacia. Esta lacuna encontra-se ainda em aberto, pois as fontes pontuais e difusas de poluição das águas no corpo d'água não foram mapeadas com a precisão necessária (escala) de acordo com o objetivo do monitoramento empreendido na bacia.

6) Dada a importância da bacia hidrográfica do rio Jari para o desenvolvimento do Estado do Amapá e Pará, em face aos empreendimentos nela existentes, é necessário avaliar como variam os parâmetros da qualidade da água com vistas nos seus usos múltiplos: saneamento ambiental, ecologia, conservação da biodiversidade, saúde pública e análise de risco ambiental. Contudo, o estado atual do conhecimento sobre o tema mostra que há severas limitações quanto à profundidade e abrangência dos estudos ora tratados nesta revisão descritiva.

5 AGRADECIMENTOS

Ao **CNPq** (Processo 475614/2012-7) pelo suporte financeiro aos projetos: "Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água no Estuário do Baixo Rio Araguari - AP; **CENBAM/CNPq** (Convênio nº 722069/2009) INCT da Biodiversidade da Amazônia; Trocas - "Net Ecosystem exchange of the Lower Amazon: from land to the Ocean and atmosphere", Processo **FAPESP** n 12/51187-0 e "Rede de Gestão Integrada de Monitoramento da Dinâmica Hidroclimática e Ambiental do Estado do Amapá". Convênio: 702813 – **SUDAM/IEPA**. Agradecimentos ao Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis (NHMET/IEPA) pelas informações hidrometeorológicas e ao Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais (**LQSAMSA/UNIFAP**) pelo apoio logístico e laboratorial.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M.; GOMES, L. C. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 70-78, 2005.

ALMEIDA, C.; GONZALEZ, S. O.; MALLEA, M.; GONZALEZ, P. A recreational water quality index using chemical, physical and microbiological parameters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 19, p. 3400–3411, 2012.

BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; SIQUEIRA, E. Q. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. **Revista de Biociências**, v. 16, n. 1, p. 57-72, 2010.

BARRETO, L. V.; FRAGA, M. S.; BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S.; CARVALHO, S. R.; BONOMO, P.; SILVA, D. P. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Ambiente & Água**, v. 9, n. 1, p. 118-129, 2014.

BLANCO, C. C; SECRETAN E FAVRE, A-C. Análise, Aplicação e Transposição de um Modelo Chuva-Vazão para Simulação de Curvas de Permanência de Pequenas Bacias da Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*, Volume 12 n.1 205-216. Jan/Mar 2007,

- BLANCO, C.J.C. ; SANTOS, S.S.M. ; QUINTAS, M.C. ; VINAGRE, M.V.A. ; MESQUITA, A.L.A. Contribution to hydrological modelling of small Amazonian catchments: application of rainfall-runoff models to simulate flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*, v. 58, p. 1-11, 2013.
- BOTELHO, R. G.; FROES, C. M.; SANTOS, J. B. Toxicity of herbicides on *Escherichia coli* growth. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 1, p. 141-146. 2012.
- BOYD, C. E. **Water quality particulate matter, turbidity, and color**. Volume 10.1007978-1-4615-4485-2 issue Chapter 6, 2000.
- BRAUNSCHWEIG. F.; MARTINS. F.; NEVES. R.; MARTINS.; PINA. P.; SANTOS. M.; SARAIVA. S. A importância dos processos físicos no controle da eutrofização em estuários. INAG –Instituto da Água, 2003.
- BRITO, D. C. B. **Aplicação do sistema de modelagem da qualidade da água QUAL 2KW em grandes rios: o caso do alto e médio rio Araguari-AP**. 2008. 152 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Amapá/UNIFAP, Macapá, 2008.
- BRITO, D. C. Balanço de carbono e modelagem de fluxos biogeoquímicos no continuum do estuário amazônico / Daímio Chaves Brito -- Macapá, 2013. 127 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá. 2013.
- BUSS, D. F.;BAPTISTA, D. F.;SILVEIRA, M. P.; Nessimian, J. L.;DORVILLÉ, L. F. M. **Influence of water chemistry and environmental degradation on macroinvertebrate assemblages in a river basin in south-east Brazil**. *Hydrobiologia*, 481: 125-136, 2002.
- CHELLAPPA, N. T. **cyanobacterialbuoncy and ecological dynamism of inland reservoir of the state Riogrande do norte**. **Congresso brasileiro de liminologia**, 2001.
- COLETTI, C.; TESTEZLAF, R.; RIBEIRO, T. A. P.; SOUZA, R. T. G.; PEREIRA, D. A. Water quality index using multivariate factorial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 517-522, 2010.
- CUNHA, A. C.; VILHENA, J. E. S.; SANTOS, E.; SARAIVA J. B.; KUHN, P. A. F.; BRITO, D. C.; SOUZA, E. B.; ROCHA, E. P.; CUNHA, H. F. A.; BRITO, A. U.; BRASIL Jr, A. C. P.; PACA, V. H. Evento extremo de chuva-vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari/Amapá. **Revista Brasileira de Meteorologia** (Impresso), Volume Especial. Jan/Mar. 2014.
- CUNHA, E. D. S; CUNHA, A. C; SILVEIRA Jr, A. M.; FAUSTINO, S. M. M. Phytoplankton of two rivers in the eastern Amazon: characterization of biodiversity and new occurrences. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, p. 364-377, 2013a.
- CUNHA, A. C. Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água. **Biota Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 124-143, 2013b.
- CUNHA, A. C; CUNHA, H. F. A.; PINHEIRO, L. A. R. 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. 67-85, 2013c.

CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; CUNHA, H. F. A; SCHULZ, H. E. 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**. Fundação Universidade Federal do Pampa, Jaguarão/RS, p. 697. 2011.

DALLAS, H. F.; RIVERS-MOORE, N. Ecological consequences of global climate change for freshwater ecosystems in South Africa. **South African Journal of Science**, v.110, n.5/6, p. 01-11, 2014.

DIAS, T. C. A. C. Unidades de conservação brasileiras: investimentos, custos de manejo e potencialidades econômicas. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical) - PPBIO - Universidade Federal do Amapá - UNIFAP. 2013.

GANDINI, C. V.; BORATTO, I. A.; FAGUNDES, D. C.; POMPEU, P. S. Estudo da alimentação dos peixes no rio Grande à jusante da usina hidrelétrica de Itutinga, Minas Gerais, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 102, n. 1, p. 56-61, 2012.

GALLOWAY, J. N.; COWLING, E. B. The Effects of Precipitation on Aquatic and Terrestrial Ecosystems: A Proposed Precipitation Chemistry Network. **Journal of the Air Pollution Control Association**, v. 28, n. 3, p. 229-235, 1978.

GOGOLA, T. M.; DAGA, V.S.; SILVA, P. R. L.; SNACHES, P. V.; GUBIANI, E. A.; BAUMGARTNER, G.; DELARIVA, R. L. Spatial and temporal distribution patterns of ichthyoplankton in a region affected by water regulation by dams. **Neotropical Ichthyology**, v. 8, n. 2, p. 341-349, 2010.

HYDROS ENGENHARIA. Inventário hidroenergético da bacia hidrográfica do Rio Jari / PA-AP. Empresa de Pesquisa Energética. [S.l.], junho de 2010.

JACIMOVIC, R. & O'KEEFFE, J. **Sharing Waters: Healthy river basins and wetlands in the DinarcArc**. Report on EFA Guide no 9E0752. 01. Delft, September, 2008.

KRUPEK, R. A.; BRANCO, C. C. Z.; PERES, C. K. Variação sazonal de alguns parâmetros físicos e químicos em três rios pertencentes a uma bacia de drenagem na região centro-sul do Estado do Paraná, Sul do Brasil. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 431-438, 2008.

LETTERMAN, R. D. **Water Quality and treatment; a handbook of community water supplies**. American Water Works Association, McGraw-Hill, 1999. 1050 p.

LUCAS, E. W. N.; BARRETO, N. J. C; CUNHA, A. C. Variabilidade hidrológica da Bacia do Rio Jari (AP): estudo de caso do ano 2000. In: **Tempo, Clima e Recursos Hídricos: resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. Macapá: IEPA, 2010. p. 119-134.

- LUÍZÂ. M. E.; PINTO, MARIA L C;SCHEFFER. E. W O. **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, p. 290-310, 201
- MOYA, N.;TOMANOVA, S, O., T. **Initial development of a multi-metric index based on aquatic macroinvertebrates to assess streams condition in the Upper Isiboro-Sécure Basin, Bolivian Amazon.** Hydrobiologia, 589: 107-116, 2007.
- NEVES, D. G; CUNHA, A. C.; SOUZA, E. S.; BARRETO, A.C. L. Modelagem climática regional durante dois anos extremos de precipitação sobre o Estado do Amapá. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 569-578, 2011.
- OLIVEIRA, T. M. B. F.; DI SOUZA, L.; CASTRO, S. S. L. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró - RN - Brasil. **Eclética Química**, v. 34, n. 3, p. 17-26, 2009.
- OLIVERA, J. C. S. **Ecologia da ictiofauna e análise ecossistêmica das áreas de influência direta da HUE Coaracy Nunes, Ferreira Gomes – AP.** 2012. 234 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Pará/UFPa, Belém, 2012.
- OLIVEIRA, A. D.; CUNHA, A. C. Análise de risco como medida preventiva de inundações na Amazônia: estudo de caso da enchente de 2000 em Laranjal do Jari-AP, Brasil. **Revista Ciência & Natura**, jan./mar. 2014, edição especial (in press).
- OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. 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, 2014.
- OSBILD, D., VASSEUR, P., OSBILD; VASSEUR. **Water Quality: The contribution of advanced technologies.** Nancie: International Water Centre, Vandoeuvre, France, 1998. p37-49, 2008.
- POMPEO, M. L. M. Produtividade Primária do fitoplâncton e tipologia da Lagoa Dourada (Brotas, SP). **IN: Anais VII Seminário Regional de Ecologia, São Paulo. São Paulo.** 7, p. 15-25, 1996.
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.
- RIXEN, T.; BAUM, A.; SEPRYANY, H.; POHLMAN, T.; JOSE, C.; SAMIAJI, J. Dissolved oxygen and its response to eutrophication in a tropical black water river. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 8, p. 1730-1737, 2012.
- ROLAND, F.; HUSZAR, V. L. M.; FARJALLA, V. F.; ENRICH-PRAST, A.; AMADO, A.M.; OMETTO, J. P. H. B. Climate change in Brazil: perspective on the biogeochemistry of inland waters. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 709-722, 2012.
- SÁ DE OLIVERA, J. C ecologia da ictiofauna e análise ecossistêmica das áreas de influência direta da HUE Coaracy Nunes, Ferreira Gomes-AP. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará-UFPa, como

requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ecologia Aquática e Pesca. 234 p. 2012.

SÁNCHEZ, E.; COLMENAREJO, M. F.; VICENTE, J.; RUBIO, A.; GARCÍA, M. G.; TRAVIESSO, L.; BORJA, R. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 2, p. 315–328, 2007.

SANTOS, E. S. **Modelagem Hidrodinâmica e Qualidade da Água em na Foz do Rio Araguari-AP**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Amapá/UNIFAP, 2012.

SANTOS, P. V. C. J E CUNHA, A.C. Outorga de Recursos Hídricos e Vazão Ambiental no Brasil: Perspectivas Metodológicas Frente ao Desenvolvimento do Setor Hidrelétrico na Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*, Volume 19 n.3 –Jul/Set 2013, 215-226

SANTOS, E.; CUNHA, E. D. S. e CUNHA, A. C. Análise espaço-sazonal da qualidade da água na zona flúvio-marinha do Rio Araguari-Amazônia Oriental-Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Volume 18 n.3 –Jul/Set, 81-95. 2014.

SHRIVASTAVA, A. K.; SWAROOP, J.; JAIN, N. Effect of seed on BOD exertion. **Indian Journal of Environmental Health**, v. 42, n. 2, p. 75–78, 2000.

SILVEIRA, J. S. Aspectos Hidrometeorológicos da bacia do rio Jari no período de 1968 a 2012. 2014. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais) Universidade Federal do Amapá/UNIFAP, Macapá, 2014.

SOBRINHO, T. R. G. et al. 2012. **Classificação climática conforme a metodologia Köppen do município de Laranjal do Jari/Amapá/Brasil**.

SOITO JUNIOR, M.; FREITAS. A. Hydroenergy Expansion in the Brazil: vulnerability, impacts e potential adaptations to climatic changes. **Renewable Energy Reviews**, n. 15, p. 3165–3177, 2011.

TEBBUTT, T. H. Y. **Principles of Water Quality Control**. 5. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 279 p.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

UDEIGWE, T. K.; WANG, J. J. Biochemical oxygen demand relationships in typical agricultural effluents. *Water, Air & Soil Pollution*, v. 213, n. 1-4, p. 237–249, 2010.

VIGIL, K. M. **Clean Water: An Introduction to Water Quality and Water Pollution Control**. Oregon State University Press Corvallis, 2003. 181 p.

VISÃO AMBIENTAL. RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA-UHE SANTO ANTÔNIO DO JARI. ECE PARTICIPAÇÕES. 2011.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de Rios**. 1ª Edição. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental;Universdade Federal de Minas Gerais, 2007. 588 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. Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. **Nature Geoscience**, v. 19, p. 1-8, 2013.

WEISSENBERGER, S., LUCOTTE, M., HOUEL, S., SOUMIS, N., DUCHEMIN, É., CANUEL, R., Modeling the carbon dynamics of the La Grande hydroelectric complex in northern Quebec. *Ecological Modelling* 221, 610-620. 2010.

ARTIGO 2 - Uso de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e indicadores de estado trófico (IET) para avaliar qualidade da água em ecossistema tropical sob impactos ambientais

USO DE PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS E INDICADORES DE ESTADO TRÓFICO (IET) PARA AVALIAR QUALIDADE DA ÁGUA EM ECOSSISTEMA TROPICAL SOB IMPACTOS AMBIENTAIS

Carlos Henrique M. de Abreu¹, Alan Cavalcanti Cunha², Daímio Chaves Brito³

1. Mestrando em Biodiversidade Tropical PPGBIO - UNIFAP, Licenciado em Física. Campus Universitário Marco Zero do Equador Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 02, Bloco T, Bairro Universidade 68903-419 – Macapá, AP, Brasil. carlos_767@ig.com.br (email principal)

2. Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical PPGBIO- UNIFAP, Eng. Químico. Prof. Adjunto III do Curso de Ciências Ambientais - UNIFAP. Campus Universitário Marco Zero do Equador Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 02, Bloco T, Bairro Universidade 68903-419 – Macapá, AP, Brasil. alancunha@unifap.br

3. Prof. Dr. da Universidade Estadual do Amapá, Licenciado em Ciências e habilitado em Química. Campus Universitário I da UEAP, Av. Presidente Vargas, nº 650, Bairro Centro 68.900-070 – Macapá, AP, Brasil. daimiobrito@gmail.com

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo quantificar a variabilidade espacial-sazonal de dezenove parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e de estado trófico (IET) do Baixo Rio Jari-AP, os quais foram monitorados trimestralmente entre setembro de 2013 a junho de 2014 e ao longo de 80 km de extensão. No referido trecho foram considerados os impactos ambientais de expansão urbana, presença de indústria e construção da hidrelétrica de Santo Antônio do Jari (UHESAJ) sobre a qualidade da água. Fatores hidrológicos e climatológicos foram considerados como influência natural da qualidade da água nos períodos sazonais (seco, transição e chuvoso). A metodologia se resume na coleta de amostras em oito sítios amostrais, iniciando-se nas proximidades da Cachoeira de Santo Antônio do Jari e finalizando após a cidade de Vitória do Jari. Os parâmetros analisados foram comparados com os tabelados pelo CONAMA 357/2005 (corpo d água classe 2). Métodos de correlação de *Spearman*, Kruskal-Wallis e análise agrupamentos (AA) foram aplicadas para testar hipóteses das variações espaço-sazonal da qualidade da água. Os parâmetros cor, turbidez, condutividade elétrica da água, DBO, amônia, fósforo, pH, sulfato, magnésio, cloreto, coliformes termotolerantes (CT), *Escherichia coli* e clorofila-a apresentaram apenas variação sazonal significativas. Contudo, o oxigênio dissolvido (OD) foi o único que acusou variação espacial significativa, provavelmente devido à influência da Cachoeira de Santo Antônio do Jari que influencia a hidrodinâmica de montante, onde há maior turbulência e capacidade de reaeração do rio Jari. Por outro lado, Cor, CT e *E. coli* apresentaram-se fora dos limites previstos na legislação. O IET apresentou variações espaço-sazonais em níveis aceitáveis. Fatores climáticos (precipitação) e hidrológicos/vazão tendem a influenciar a qualidade da água significativamente no eixo sazonal, com o aumento mais acentuado das concentrações de microrganismos patogênicos e coloração da água no período chuvoso. Este comportamento, por exemplo, é importante para avaliar riscos de disseminação de doenças de veiculação hídrica e gestão da conservação da biodiversidade aquática. Conclui-se que a variação da qualidade da água é influenciada tanto pelos impactos ambientais (urbano, indústria e UHESAJ) quanto pelas variações naturais do ciclo hidrológico. Esta investigação sintetiza dados e informações

úteis em relação às políticas públicas de conservação de ecossistemas aquáticos, haja vista que permite avaliar o atual nível de perturbação antrópica sobre estes ambientes tropicais.

Palavras-chave: IET; variação espacial-sazonal; influência da precipitação; análise multivariada.

ABSTRACT

PHYSICAL PARAMETERS OF USE, CHEMICAL, MICROBIOLOGICAL AND INDICATORS TROPHIC STATE (ETS) FOR WATER QUALITY ANALYSIS IN TROPICAL ECOSYSTEM UNDER ENVIRONMENTAL IMPACTS

This study aims to quantify the spatial-seasonal variability of nineteen physical, chemical, microbiological and trophic state (EIT) of the Lower Rio Jari-AP, which were monitored every three months between September 2013 and June 2014 and over 80 km long. In that section we considered the environmental impacts of urban sprawl, industry and construction of the Santo Antonio dam Jari (UHESAJ) on water quality. Hydrological and climatological factors were considered natural influence water quality in seasonal periods (dry, transitional and wet). The methodology is summarized in the collection of samples in eight sampling sites, starting near the Waterfall of Santo Antonio do Jari and ending after the city of Jari victory. The parameters analyzed were compared with those tabulated by CONAMA 357/2005 (body of water class 2). Spearman correlation methods, Kruskal-Wallis and analysis groups (AA) were used to test hypotheses of space-seasonal variations in water quality. The color parameters, turbidity, electrical conductivity, BOD, ammonia, phosphorus, pH, sulfate, magnesium, chloride, fecal coliform (TC), *Escherichia coli* and chlorophyll-a showed only significant seasonal variation. However, the dissolved oxygen (DO) was the one who accused significant spatial variation, probably due to the influence Santo Antonio do Jari waterfall that influences the amount of hydrodynamics, where there is greater turbulence and rearação capacity of the Jari River. On the other hand, color, CT and *E. coli* showed up outside the limits set by law. The EIT presented space-seasonal variations in acceptable levels. Climatic factors (precipitation) and hydrological tend to influence the water quality significantly in the seasonal axis, with increasing concentrations of pathogenic microorganisms and water coloring in the rainy season. This behavior is important to evaluate risks of the spread of waterborne diseases. It is concluded that the monitoring of water quality are significantly influenced by the major environmental impacts (urban, industry and UHESAJ). This research synthesizes data and information regarding public policies for the conservation of aquatic ecosystems, given that allows measuring the level of human disturbance on these tropical environments.

Keywords: parameters; Spatial-seasonal variation; influence of hydrology and precipitation; multivariate analysis

1 INTRODUÇÃO

Embora as características de um corpo hídrico sejam dinâmicas, em um dado tempo e local no ambiente natural, um equilíbrio hidrológico estável ocorre, o qual é resultado de uma complexa inter-relação entre a água, a terra e a cobertura vegetal (VELZ, 1984).

Portanto a estabilidade ou dinâmica dos ecossistemas aquáticos é relativa. A qualidade da água dos rios pode sofrer influência direta do ciclo hidrológico (vaporização, condensação, vazão e precipitação), mas outros fatores físicos interferem no escoamento da água: fisiografia, tipologia da bacia de drenagem, características fisiográficas na qual está inserida, geologia e formação de águas subterrâneas, e principalmente a cobertura vegetal (TUCCI, 1993; VELZ, 1984), na interação terra-água (WARD et al., 2013).

Por diversas razões a literatura sobre qualidade da água tem demonstrado que, ocorrem alterações significativas nos parâmetros físicos, químicos e, principalmente biológicos da água ao longo dos períodos sazonais (precipitação), mas também podem variar espacialmente, dependendo da escala de monitoramento adotada (CUNHA et al., 2013). Mas o impacto da precipitação sobre a hidrologia do corpo hídrico, além de depender das características físicas e do local de estudo na bacia (características físicas da drenagem) depende das condições climáticas ao longo do ano, normalmente denominadas de períodos chuvosos e secos (TUCCI, 1993; CUNHA et al. 2011).

Além da precipitação influenciar o comportamento hidrológico, o escoamento gerado a partir do fluxo gerado é capaz de transportar nutrientes, partículas, resíduos agrícolas e matéria orgânica diretamente para os rios afetando, por exemplo, suas características físicas e químicas (SIPAUBA-TAVARES et al., 2007). Contudo, o inverso pode ocorrer, com o corpo d'água nutrir as margens dos rios a partir da dinâmica das cheias nos períodos chuvosos (CUNHA, 2013).

Segundo Velz (1984) um complexo urbano interagindo com um complexo industrial ou de geração hidrelétrica gera competição por recursos hídricos limitados, não somente em sua quantidade (que não é o caso do Rio Jari), mas em termos de sua qualidade (extremamente sensível e limitante na Amazônia). Alguns destes limitantes são: suprimento de água potável e industrial, geração de energia hidrelétrica, recreação, balneabilidade, esportes aquáticos, irrigação, navegação, pesca, conservação da vida aquática selvagem, em especial, a inevitabilidade da disposição final de resíduos a partir de comunidades e centros urbanos, indústria, agricultura e recursos naturais.

Há pelo menos três dimensões importantes que são normalmente consideradas nos impactos das alterações de parâmetros da qualidade da água: a) física (sólidos suspenso, turbidez, sólidos totais); b) química (pH, OD e DBO) e c) microbiológica (CT e *E. coli*).

Em termos de **poluição física**, por exemplo, a turbidez e a cor são importantes indicadores que podem influenciar a penetração da luz na água, podendo ser limitante para a busca de alimentos por peixes (OLIVEIRA SÁ, 2012). Tchobanoglous e Schroeder (1985) descrevem também que a turbidez está relacionada com a transparência da água, mas que esta pode mudar rapidamente em função de presença de sólidos (ou material coloidal) e eutrofização, pois quando partículas coloidais acumulam a luz é dispersada e a água parece turva. Outro aspecto físico importante é que todos os contaminantes da água, mais do que gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos (sólidos suspensos totais - SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), etc.

Em termos de **poluição química**, os principais parâmetros de avaliação utilizado são: o pH, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), presença de fósforo (P) e nitrogênio (N) (eutrofização) (NEMEROW, 1974;

SHRIVASTAVA et al., 2000; TCHOBANOGLIOUS; SCHROEDER, 1985; UDEIGWE; WANG, 2010), entre outros.

Além disso, as medidas químicas da qualidade da água incluem a presença de íons específicos tais como cálcio, magnésio, sódio potássio e cloreto. A importância desses íons pode estar associada a construção da molécula de clorofila, como é o caso do magnésio ou até o transporte de outros íons com é o caso do cloreto (ESTEVES, 2011).

Por exemplo, pH é uma importante propriedade das águas naturais e residuárias devido a presença de ácidos fracos, bases fracas, e seus sais. O pH também pode indicar alterações químicas da água, e sua modificação é associada a fatores naturais ou antrópicos, como o despejo de materiais oriundos de indústrias ou fertilizantes utilizados em plantações (ALMEIDA et al., 2012) que podem, por exemplo, influenciar o sistema carbonato das águas, fortemente vinculado com o ciclo do carbono na água (respiração) (BRITO, 2013; WARD et al., 2013).

Além disso, o equilíbrio do sistema carbonato é fundamental para o estudo dos ambientes aquáticos, como a amônia (base fraca) e o ácido fosfórico. No ambiente natural, há uma tendência das águas permanecerem dentro de uma relativamente estreita faixa de atividade do íon H^+ (pH) devido a presença de tampões que resistem a mudanças destes últimos (CHAPRA, 1997). Muitas substâncias tampões estão relacionadas com espécies dissolvidas do carbono orgânico: CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , os quais estão estritamente vinculados com a cadeia alimentar dos ecossistemas aquáticos (WARD et al., 2013).

O ciclo do carbono está relacionado, no presente caso de interesse, com nutrientes, biomassa e poluentes. Do mesmo modo que o fósforo e o nitrogênio, o carbono pode ser considerado como um *nutriente* (não limitante). Mas, devido constituir normalmente uma fração significativa da componente orgânica, o carbono é frequentemente utilizado como quantidade de *biomassa*. Além disso, o carbono é um importante fator em termos de problema de poluição além da eutrofização (DBO, N e P), pois a decomposição do carbono orgânico pode fortemente afetar a concentração de OD, além de que, muitas vezes a dinâmica de poluentes tóxicos frequentemente estão intimamente relacionadas com a geração, transporte e carga de carbono orgânico (CHAPRA, 1997).

Por outro lado, as reações químicas das espécies (carbono orgânico: CO_2, HCO_3^-, CO_3^{2-}) são relativamente rápidas, com taxas da ordem de segundos ou minutos. Em contrapartida, as reações com a cadeia alimentar (fotossíntese e respiração), e até volatilização, são tipicamente mais lentas, com taxas da ordem de dias (CUNHA et al., 2011). Nestes termos, a interação e o equilíbrio entre carbono, nitrogênio e fósforo é importante para estudos da qualidade da água.

A DBO pode representar o processo de respiração (ou degradação da matéria orgânica biodegradável) e as espécies nitrito e nitrato são também importantes para os processos ecológicos, como a nitrificação/desnitrificação e a eutrofização. O nitrogênio nitrito/nitrato serve como indicador de causa de eutrofização, mais do que um problema em si mesmo, enquanto que em termos de eutrofização propriamente dita, o nitrogênio e o fósforo são realmente poluentes efetivos. Por seu turno, a amônia é tóxica, além disso, a amônia pode causar depleção do OD (CHAPRA, 1997). E, dependendo da temperatura e do pH, a amônia pode tornar-se não-ionizada, bastante tóxica para muitos organismos aquáticos.

Contudo, o fósforo e o nitrogênio são nutrientes limitantes relacionados ao funcionamento básico dos ecossistemas aquáticos e crescimento das algas. O seu nível é um indicador da eutrofização em corpos d'água, e a detecção destes dois parâmetros em níveis elevados pode indicar o despejo de poluentes oriundos de esgotos não tratados e/ou poluentes de produtos de origem agrícolas (ALMEIDA et al., 2012; TEBBUTT, 2002).

Por ser o fósforo essencial à vida, entre outras funções, tem um papel crítico no sistema genético e no armazenamento e transferência de energia dentro da célula. O fósforo é um nutriente limitante em relação a outros nutrientes (como o carbono), devido sua escassez na terra e também porque não são muito solúveis, e inexistem na forma gasosa (em contraste com o carbono e nitrogênio). E também porque tende a sorver fortemente partículas de granulação fina (CHAPRA, 1997). Portanto, por ser limitante, o fósforo é importantíssimo para os ecossistemas aquáticos.

Quantificar o nível de eutrofização (para avaliação do nível trófico de um ecossistema aquático) é importante porque este causa uma série de problemas que podem reduzir a qualidade da água para diversos usos: a) *quantidade*, pode favorecer o crescimento de plantas aquáticas flutuantes e clarificam a água, mudando sua condição natural; b) *química*: crescimento de plantas e respiração podem afetar o sistema químico da água, notadamente o OD e o CO₂ que podem ser afetados diretamente por atividades dessas plantas, afetando, por exemplo, os peixes; c) *biologia*: a eutrofização pode alterar a composição das espécies de um ecossistema e a biota nativa pode ser substituída quando o ambiente se torna mais produtivo (TCHOBANOGLIOUS; SCHROEDER, 1985).

O OD é um dos parâmetros mais relevantes para estudos limnológicos e ecológicos. Basicamente sua concentração é resultante da troca de oxigênio entre a atmosfera e as correntes de água, cujo fenômeno é usualmente conhecido como "reaeração" ou reoxigenação, quando a absorção física do oxigênio pelos corpos d'água é considerada. Há outras fontes de OD, como a fotossíntese, mas esta fonte é menos importante em rios do que em lagos ou reservatórios, onde os ambientes destes últimos são mais lênticos (CUNHA et al., 2011).

A variação de concentração de OD depende de um complexo processo de consumo e fornecimento do oxigênio, sendo importante para a manutenção da vida aquática superior aeróbica ou facultativa. Normalmente a necessidade de concentração de oxigênio na água depende da carga orgânica contida no corpo d'água (DBO, por exemplo), mas pode ser suprido naturalmente a partir da atmosfera para o corpo d'água através da interface ar-água. Esta variável é fundamental para o consumo das cargas orgânicas (biodegradáveis) que podem perturbar as condições espacial-temporal do equilíbrio aeróbico dos ecossistemas aquáticos (consumo de OD representado pela DBO) (SHRIVASTAVA et al., 2000).

A **poluição microbiológica** apresenta importância porque a água contaminada é normalmente responsável pela dispersão de muitas doenças contagiosas, cujos agentes primários são denominados de patógenos. Esses podem ser divididos em categorias, e os mais comuns são os grupos associados com poluição da água (bactérias, vírus, protozoários, helmintos e algas).

Na poluição microbiológica há os patógenos individuais que são frequentemente difíceis/caros de medir diretamente. Neste caso, o gerenciamento de qualidade da água tem sido feito com uso de organismos indicadores. Esses grupos de organismos são convenientes de medir e são abundantes em humanos ou em resíduo animal. Se eles estão presentes, considera-se que também os patógenos provavelmente estejam presentes (CHAPRA, 1997). Os mais comuns são: Coliformes totais (CT) representado por um grande grupo de bactérias anaeróbicas, gran-negativas, sem formação esporulada, com formato de bastonete que fermentam lactose com formação de gases dentro de 48h a 35 °C. Já os Coliformes Fecais (CF), um subgrupo de CT é de origem intestinal de animais de sangue quente. A concentração dessas bactérias no ambiente é influenciada pela taxa de mortalidade, devido a radiação solar (luz), ou perda por predação e sedimentação na coluna d'água.

Ainda em relação aos parâmetros microbiológicos, de acordo com Cunha et al. (2013a), o **fitoplancton** é composto de organismos microscópicos também conhecidos como

algas, as quais flutuam ou permanecem na superfície dos corpos de água. Esses organismos fornecem serviços essenciais para os ecossistemas, tais como produção de OD para sustentação da vida aquática superior, e para a atmosfera, sequestrando CO₂ a partir da coluna d'água. Além disso, formam a base da cadeia alimentar dos ecossistemas aquáticos e suprem fração significativa do carbono orgânico necessário aos peixes, os quais são uma fonte primária de proteína para populações humanas. Além disso, os referidos autores descrevem que as águas continentais brasileiras são ricas em fitoplâncton e apresentam considerável diversidade de espécies, com aproximadamente 25% das espécies do mundo (AGOSTINHO et al., 2005).

As **algas** apresentam um pigmento denominado de **clorofila-a**. Segundo Primavera et al. (2006) e Melo et al. (2014) a clorofila-a é um pigmento comum em todo fitoplâncton (algas). Devido a essa característica, é possível estimar a biomassa de algas e a quantidade de matéria orgânica disponibilizada aos demais níveis tróficos (PASSAVANTE; FEITOSA, 1989).

A clorofila é amplamente utilizada para avaliar o estado dos ecossistemas aquáticos, podendo ser selecionado como um indicador de qualidade da água, já que reflete o resultado dos processos de crescimento e perda de biomassa fitoplanctônica. Com o monitoramento da biomassa fitoplanctônica é possível classificar o ambiente aquático quanto ao seu grau de eutrofização, evitando-se assim a ocorrência de proliferações de algas (florações) resultantes de impactos ambientais nesses ecossistemas (DESORTOVÁ, 2010).

A resolução 357 do CONAMA estabelece padrões de clorofila para classificação de corpos d'água: as águas doces de classe I devem apresentar concentrações de clorofila-a de até 10µg.L-1, as de classe II devem ter até 30 µg.L-1 e as de classe III, máximo de 60 µg.L-1.

De acordo com Boyer (2009) altas concentrações de biomassa de algas estão associadas à eutrofização e é, geralmente, a causa dos problemas práticos decorrentes desta.

Segundo Primavera (2006), flutuações na composição de espécies de algas podem afetar os níveis tróficos, uma vez que estas são a base do ciclo alimentar marinho e lacustre.

O fitoplâncton é de grande importância na caracterização e definição da fisiologia ambiental e na avaliação do estado ecológico dos sistemas aquáticos. O desenvolvimento destes organismos depende fortemente de fatores ambientais abióticos e bióticos, tais como a variação do ciclo hidrológico e variação de parâmetros da qualidade da água (CUNHA et al., 2013a), sendo excelentes bioindicadores. Esta qualidade é devido serem sensíveis às mudanças de quaisquer fatores ambientais, pois a simples alteração destes fatores pode inibir ou estimular grandes florações algais (DESORTOVÁ, 2010). Na área de conservação, o fitoplâncton é um importante elemento utilizado na avaliação do estado ecológico do ecossistema aquático. Porém, apesar da importância do estudo desses organismos em rios do estado do Amapá, estes são precisamente raros ou inexistentes nos rios do Amapá (MELO et al., 2014).

A amplitude de aplicações do monitoramento da qualidade da água sugere naturalmente que a análise de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos qualidade da água seja utilizada frequentemente como metodologia para o diagnóstico das condições ecológicas, gerando informações sobre o nível de equilíbrio dos ecossistemas aquáticos (BIEGER et al., 2010).

Especificamente no Rio Jari, o monitoramento periódico da qualidade microbiológica da água mostra-se relevante porque se trata de uma bacia com antigos e novos conflitos pelo uso da água. Recentemente tem sido percebida a necessidade de se gerar uma linha básica de referência sobre a qualidade da água com base em análise de poucos parâmetros que

representassem o estado do ambiente aquático, haja vista uma série de novos e significativos impactos ambientais que estão ocorrendo nesta área geográfica (OLIVEIRA; CUNHA, 2014).

Com base na amplitude e abrangência conceitual do tema, a principal hipótese geral da pesquisa é a seguinte: há **significativa variação espacial-sazonal da qualidade da água no baixo trecho do Rio Jari-AP e esta variação pode ser intensificada pela ação antrópica devido ao uso e ocupação desordenados do solo**. No total foram medidos 19 parâmetros da qualidade da água ao longo de 80 km de rio no período entre 2013 a 2014. Uma hipótese específica, consequente da primeira, é que esta variação é influenciada principalmente pelo **ciclo hidrológico** natural, mas também por **perturbações antrópicas** (como a proximidade de empreendimentos econômicos - UHEs).

Com base na hipótese geral, a presente pesquisa tem como **objetivo** subsidiar tomadas de decisão e auxiliar a gestão da conservação da biodiversidade aquática no baixo Rio Jari. Com este propósito, **gerar um suporte de referência sobre monitoramento da qualidade da água na bacia** de importância para gestores e reguladores do Poder Público, os quais necessitam elaborar ações de planejamento e gestão da conservação da biodiversidade, meio ambiente, recursos hídricos, saneamento ambiental e defesa civil.

Os resultados apresentados constituem-se em importantes aplicações do conhecimento ecológico/limnológico atual na bacia, com vistas ao uso sustentável desses ambientes tão pouco estudados, mas sensivelmente impactados pelo homem.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa foi desenvolvida na bacia hidrográfica do Rio Jari, localizada ao norte do Brasil, sendo sua fronteira situada entre os estados Amapá e Pará (Figura 1). Sua área aproximada é de 57.000 Km² e os seus principais tributários são os rios Curap, Colari, Cuc, Mapari, Noucouru, Iratapuru, Ipitinga e Carecuru, e igarapé Caracaru (HYDROS ENGENHARIA, 2010, OLIVEIRA; CUNHA, 2014).

O rio Jari possui aproximadamente 800 km de extensão, e o trecho com possibilidade de navegação marítima se limita à localidade denominada Munguba, situada à jusante de Laranjal do Jari, onde se situa o porto fluvio-marítimo do empreendimento Jari Celulose. 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 (OLIVEIRA; CUNHA, 2014).

O trecho entre a confluência do rio Ipitinga até a confluência do igarapé Carucaru é definido como **médio curso**, caracterizado por várias quedas d'água com declividade em torno de 10 a 30%, que inviabilizam a navegação. O **curso inferior** do Rio Jari é delimitado pela confluência do Igarapé Carucaru, até a sua confluência com o Rio Amazonas. Segundo Cunha et al. (2012). Essa região se caracteriza como uma planície, com declividade quase nula, onde ocorrem áreas alagáveis com refluxo de marés.

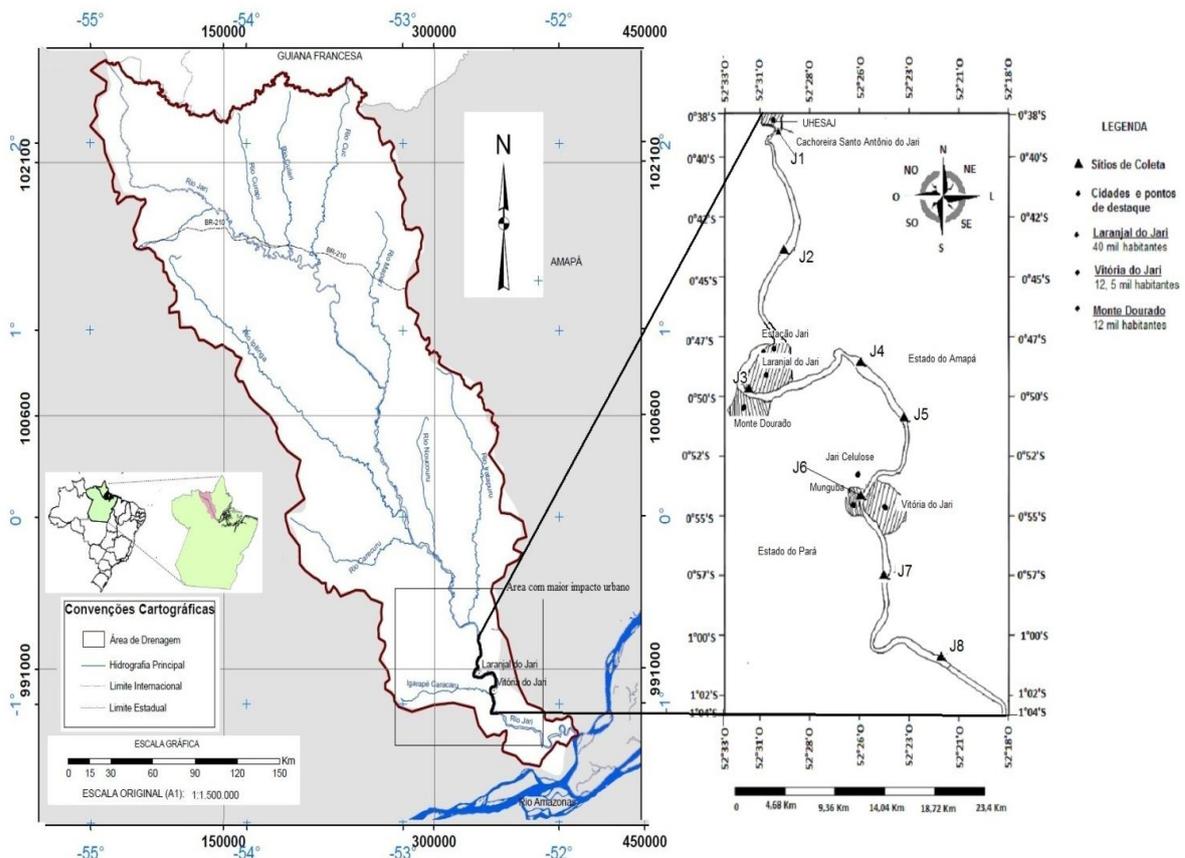


Figura 1 - Bacia hidrográfica do Rio Jari e os sítios de coleta ao longo do rio Jari, localização das principais cidades e localização da UHESA próxima à cachoeira de Santo Antônio.
Fonte: Adaptado de Hydros Engenharia (2010).

Na bacia do Rio Jari a influência antrópica é observada de forma mais acentuada na sua porção sul, onde existem os principais focos de impacto ambiental com fontes de despejo de efluentes não tratados e presença de uma UHE (Santo Antônio do Jari). A cidade de Laranjal do Jari (AP) apresenta uma população de aproximadamente 40 mil habitantes. Vitória do Jari (AP) apresenta 12,5 mil habitantes e Monte Dourado (PA) 34 mil habitantes (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2014).

As Unidades de Conservação de Proteção Integral existentes na área da bacia hidrográfica são o Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque, a Estação Ecológica do Jari AP/PA, e a Reserva Biológica do Maicuru. As Unidades de Conservação de Uso Sustentável existentes na área da bacia hidrográfica são a Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Iratapuru, a Reserva Extrativista do Rio Cajari e a Floresta Estadual do Paru.

O clima da bacia hidrográfica do rio Jari é influenciado pela sazonalidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), pela elevada capacidade de evapotranspiração da floresta, pelo El Niño e La Niña e pelos ventos alísios que transportam umidade do Oceano Atlântico para a região norte do Brasil (SANTOS, 2012; LUCAS et al., 2010). A série histórica de precipitação disponível possui dados registrados entre 1968 e 2012, com média anual variando entre 1.850 mm e 2.550 mm. Os meses mais chuvosos são março, abril e maio, onde o total precipitado alcança 41,6% do acumulado anual. Os meses de setembro, outubro e novembro apresentam uma menor média de precipitação, correspondendo a 7,4% do total precipitado (SOBRINHO, 2012; SILVEIRA, 2014).

De acordo com Lucas et al. (2010), a Figura 2 mostra a série histórica média de vazões de 30 anos na bacia do Rio Jari (médias mensais climatológicas), comparando-as com vazões médias mensais observadas em 2000 (vazão extrema). A estação de São Francisco localiza-se a montante da cidade de Laranjal do Jari. Observa-se a curva em vermelho indicando os anos de normalidade das vazões ao longo do período anual dentro da normalidade. A curva em azul mostra uma variação anual com vazões mensais extremas ocorridas em 2000 (pior cheia da série) (LUCAS et al., 2010).

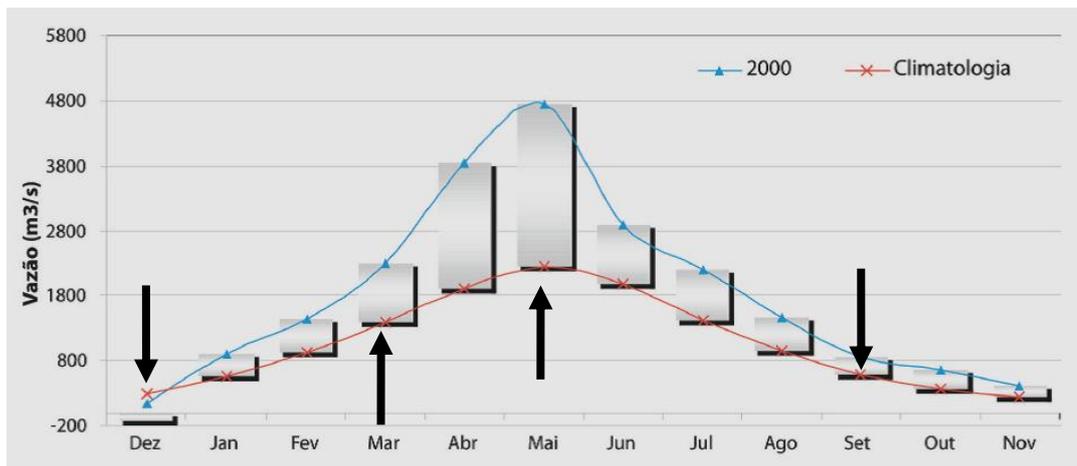


Figura 2 - Comparações entre a vazão histórica (climatologia de 30 anos) e um evento extremo ocorrido em 2000 registradas pela estação de São Francisco - Rio Jari-AP. As setas verticais indicam os períodos climáticos em que foram realizadas as campanhas de monitoramento da qualidade da água.

Fonte: Adaptado de LUCAS et al., 2010.

Lucas et al. (2010) estudaram a variabilidade da precipitação/cota/vazão na mesma região do rio Jari e utilizaram uma série histórica de 30 anos (1980 a 2010), e observaram que nesta localidade ocorre um forte sinal de variações pluviométricas interanuais durante o período chuvoso. Destacam-se as vazões de 2000, a qual mostra que as anomalias positivas (ou negativas) de chuva ao longo de um significativo período de tempo (seis meses no período chuvoso), impactou o regime hidrológico e representou o evento de cheia como de ordem significativa (OLIVEIRA; CUNHA, 2014). Por este motivo é importante que os estudos de monitoramento sejam realizados em anos climatologicamente "normais".

No presente estudo, bem como no de Oliveira e Cunha (2014b), a precipitação, nível de cota e vazão na Estação de São Francisco variaram dentro do intervalo considerado normal (linha vermelha da Figura 2). Portanto, este é um dos critérios adotados para que se considerasse o "comportamento" hidrológico ou da curva de vazão mensal/anual como normal. Este critério é importante porque, como pode ser observado por ambas as curvas (vermelha e azul da Figura 2), só o comportamento da vazão extrema pode alterar significativamente os parâmetros da qualidade da água e "mascarar" as demais influências, tais como as fontes pontuais ou difusas de poluição da água, inviabilizando a interpretação adequada da sua variação.

2.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Foram selecionados 8 sítios de coleta ao longo de um trecho de 80 km no rio Jari (Figura 1), compreendidos entre a cachoeira Santo Antônio do Jari (próxima ao local de instalação da barragem UHESA) até a região posterior à cidade de Vitória do Jari. A distância entre os sítios J1, J2 e J3 foi da ordem de 10 km, enquanto a distância entre o restante dos

sítios foi de 8 km. Essa escala de distanciamento foi utilizada com base em estudos realizados no rio Araguari por Brito (2008) e Bárbara et al. (2010), respeitando as características hidráulicas do escoamento, permitindo uma mínima detecção de variações quantitativas de diversos parâmetros da qualidade da água ao longo do ciclo hidrológico no Rio Araguari, cujo porte seja semelhante ao do Jari (CUNHA et al., 2011). Esta hipótese foi confirmada por Oliveira e Cunha (2014) onde se percebeu variações da qualidade da água considerando distâncias próximas ou até os mesmos sítios amostrais utilizados pelos referidos autores.

No trecho do baixo Rio Jari, foram realizadas quatro campanhas amostrais: setembro (2013), dezembro (2013), março (2014) e junho (2014), indicados pelas setas na Figura 2. O intervalo temporal entre os períodos de coleta foi delineado de modo a melhor representar as variações características do ciclo hidrológico da bacia (LUCAS et al., 2010; SILVEIRA et al., 2013; OLIVEIRA; CUNHA, 2014): chuvoso, transição chuvoso, seco, transição seco, mas também a logística de transporte entre o local de coleta e o laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais da UNIFAP (LQSMSA).

As amostras de água foram coletadas próximas à superfície do rio, em cerca de 0,50m de profundidade, e as primeiras coletas de cada amostra foram descartadas para a lavagem dos frascos de forma padronizada. Um segundo procedimento ocorreu, quando então eram lacradas as amostras definitivas, as quais eram armazenadas em cuba térmica, e posteriormente transferidas para o laboratório para análises restantes (distante 367 km de Macapá). Alguns parâmetros como pH, condutividade, turbidez, OD, etc, foram medidos no mesmo instante da coleta. As demais, como os íons e os microbiológicos, analisadas no LQSMSA. O método de análise utilizado seguiu o *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (Métodos de Padrões para Análises da Água e Esgoto) da *American Public Health Association* (APHA, 2005) e o Manual do Espectrofotômetro (DR/2800, 2005) descrito na Tabela 1.

Após a etapa de coleta, armazenamento e transporte das amostras, os parâmetros foram quantificados e comparados com valores limites, máximos ou mínimos permitidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA. A referida comparação foi definida para corpos d'água classe II, cujos critérios e limites para o consumo humano também estão descritos na Tabela 1.

A presença de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (*E. coli*) foi observada pelo método Colilert. A análise quantitativa do método Colilert é dada pela cartela Quanti-tray, que após a selagem, incubação e contagem dos cubos (amarelos para coliformes termotolerantes e fluorescente com o auxílio de uma luz ultravioleta de 365nm, para *E.coli*) indicam o número aproximado de microorganismos específicos numa amostra de água, utilizando tabela de probabilidade com limite de confiança de 95% (IDEXX, 2002).

Para a análise de clorofila-a foram coletados 300 mL de água e armazenados em uma cuba térmica com gelo. Em laboratório, esse conteúdo foi filtrado com o auxílio de bomba a vácuo e filtro de fibra de vidro com 0,45 µm. Os filtros com o conteúdo de clorofila foram colocados em tubos de ensaio contendo 10 mL de acetona a 90% para extração do pigmento, e posteriormente envolvidos em papel alumínio por um período de 24 horas. O material extrativo foi centrifugado por 10 minutos em uma velocidade de 4500 RPM, para que o sobrenadante pudesse ser retirado e encaminhado para análise espectrofotométrica. O grau de absorbância foi medido nos seguintes comprimentos de onda: 630, 645, 665 e 750 nm conforme a metodologia proposta por Parsons e Strickland (1963).

Tabela 1 - Unidades de medida dos parâmetros utilizados, seus respectivos métodos e equipamentos de análise e valores máximos e mínimos estipulados pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA para rios de classe II. * Limites para consumo humano.

	Parâmetro	Unidade	Métodos/Equipamento de Análise	(CONAMA, 2005)
Parâmetros Físicos	Cor	mgPt L ⁻¹	Platinum-Cobalt	Máximo 75 mg Pt/ L
	Turbidez	NTU	Turbidímetro HACH 2100P	100 NTU
	TSS	mg L ⁻¹	Fotométrico	-
	TDS	mg L ⁻¹	Fotométrico	Máximo 500 mg /L
	Temperatura	°C	Sonda MultiparâmetrosYsi 556 Mps	-
	Condutividade elétrica	µScm ⁻¹	Sonda MultiparâmetrosYsi 556 Mps	-
	OD	mg L ⁻¹	Sonda MultiparâmetrosYsi 556 Mps	Mínimo 5 mg/ L
	DBO _{5,20°}	mg L ⁻¹	Dbos _{5, 20°}	DBO _{5,20°} até 5 mg /L
	NO ₃	mg L ⁻¹ N	Redução de Cádmio	Máximo 10 mg /L
	NH ₃	mg L ⁻¹ N	Método Nessler	Máximo 3,7 mg /L
Parâmetros Químicos	pH	-	Sonda MultiparâmetrosYsi 556 Mps	Entre 6 e 9
	(P) Total	mg L ⁻¹	Phosver 3	0,03 mg/L
	Magnésio	mg L ⁻¹	Calmagita Colorimétrica	-
	Cálcio	mg L ⁻¹	Calmagita Colorimétrica	-
	Sulfato	mg L ⁻¹	Sulfaver	≤ 250mg/L
	Cloreto	mg L ⁻¹	Tiocianato Mercúrico	≤ 250mg/L
	CT*	CT/100 ml	Substrato Cromogênico	1000/ 100ml
Param. Microb.	<i>E. coli</i> *	<i>E. coli</i> /100 ml	Substrato Cromogênico	0
	Clorofila A			30ug/L

O Índice Estado Eutrófico (IET) foi determinado de acordo com os procedimentos citados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2014) e calculado pela Equação 1, a qual utiliza a concentração de Fósforo Total (PT) em (µg/L) (LAMPARELLI, 2004). O fósforo é utilizado para calcular o potencial de eutrofização do corpo hídrico, por ser considerado o principal agente causador deste processo, isto é, uma ameaça aos ecossistemas aquáticos(VON SPERLING,1995).

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

A escala de avaliação do IET pode ser representada por faixas de classificação, segundo a descrição da Tabela 1. Na presente investigação, valores resultantes do cálculo de concentração de fósforo total serão utilizados na Equação 1, e posteriormente comparados com os valores da Tabela 2.

Tabela 2: IET para ambientes lóticos (Lamparelli, 2004)

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Nível de concentração de nutrientes
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	Concentração insignificante de nutrientes.
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	Baixa concentração de nutrientes sem prejudicar os corpos d'água.
Mesotrófico	$52 < IET = 59$	Concentrações intermediárias, com possíveis implicações sobre a qualidade da água.
Eutrófico	$49 < IET = 63$	Altas concentrações em relação às condições naturais produzindo alterações indesejáveis na água.
Supereutrófico	$63 < IET = 67$	Alta produtividade em relação às condições naturais, baixa transparência, com a ocorrência de episódios florações de algas.
Hipereutrófico	> 67	Elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com episódios de floração de algas ou mortandades de peixes.

A escolha dos parâmetros discriminados na Tabela 1 foi baseada na classificação dada pelo CONAMA na resolução 357/2005 para águas de classe II. Essa categoria define que águas de classe II podem ser destinadas ao abastecimento e consumo humano após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca.

A utilização dos parâmetros físicos descritos na Tabela 1 é fundamentada no fato desses parâmetros possuírem influência direta nas reações químicas que podem modificar a cor, o odor e outras características dos corpos d'água. Além disso, podem fornecer vários indícios de fenômenos que possam estar ocorrendo nela, sendo naturais ou de atuação humana por influência de indústrias ou cidades sem planejamento urbano e tratamento de resíduos, como Laranjal e Vitória do Jari. Os parâmetros físicos relacionados aos sólidos (sedimentos) fornecem indícios de possíveis alterações da dinâmica hidrossedimentar como consequência da erosão relacionadas às atividades humanas ou não (BRITO, 2008; CUNHA, 2013; KRUPET et al., 2003; LUÍZÁ et al., 2012), citando como exemplo a instalação da UHE Santo Antônio do Jari.

2.3 MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS

Uma matriz de dados foi obtida após o período de coleta, armazenamento e análise das amostras de água. Inicialmente foi realizado o teste de normalidade denominado de Shapiro-Wilk, o qual foi aplicado a cada uma das frequências da série de parâmetros. Em nenhum dos casos houve normalidade ($p > 0,05$). Com base nesta premissa, optou-se pela utilização de testes não paramétricos Spearman (correlação), Kruskal-Wallis (comparação espaço-temporal) e Análise de Agrupamento Hierárquico AAH (similaridade espacial).

O teste de Spearman foi utilizado para análise de correlação da média de precipitação histórica com os parâmetros analisados ao longo das campanhas realizadas no período chuvoso e de estiagem.

Para a verificação de diferenças entre parâmetros da qualidade da água versus a média de precipitação do respectivo mês de coleta (março, junho setembro e dezembro), utilizou-se o método não paramétrico Kruskal-Wallis, que consiste em observar a existência significativa entre três grupos ou mais (R CORE TEAM, 2014).

Neste caso o método de Kruskal-Wallis foi utilizado para verificar múltiplas comparações entre as frequências espacial-sazonal dos (19 parâmetros nos 8 sítios de coleta). O nível significância ($p < 0,05$) foi utilizado como parâmetro de corte dos testes de hipóteses.

Para os casos em que o teste de Kruskal-Wallis apresentou resultados significativos ($p < 0,05$) para a variação espacial ou temporal procurou-se observar a semelhança dos resultados entre os sítios de coleta através da análise de agrupamento hierárquico. Um desses testes de agrupamento hierárquico é a análise de agrupamento (AAH) que consiste em observar a similaridade entre grupos de dados. Em todos os métodos aplicou-se software estatístico “R” (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

Complementarmente, como método de visualização dessas análises, foram utilizadas as ferramentas estatísticas de box-plot, as quais permitiram a melhor visualização possível entre as diferenças das medianas de cada período de coleta (R CORE TEAM, 2014). Neste último caso, a distância utilizada foi a de Euclides, que se mostrou mais apropriada para a interpretação dos resultados da AAH.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VARIAÇÃO ESPACIAL DOS PARÂMETROS

O teste Kruskal-Wallis mostrou que a maioria absoluta (18) dos parâmetros não apresentou variação espacial significativa. A única exceção foi o OD, que acusou resposta significativa neste gradiente ($p < 0,05$).

A Figura 3 mostra os resultados da AAH do OD, em que foram formados dois grupos hierárquicos: Grupo 1 e Grupo 2. Nesta análise a unidade amostral é o sítio de coleta (J1, J2, ..., J8). No Grupo 1, o sítio J1 se destaca, enquanto que no Grupo 2, o sítio J8.

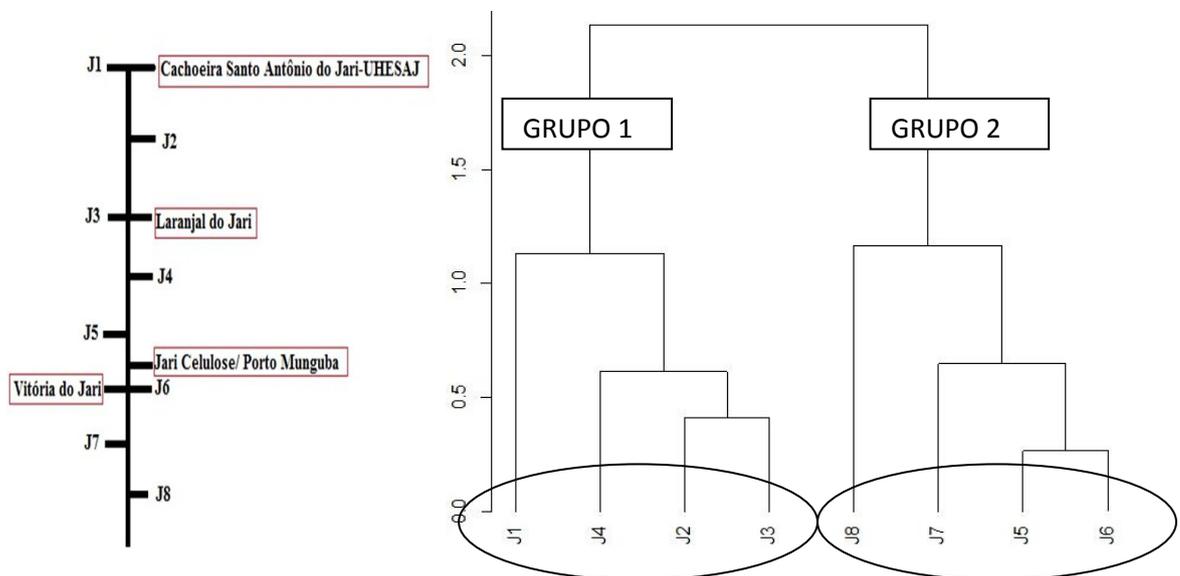


Figura 3 - Dendrograma indicando a divisão entre dois grupos de pontos de coleta para o OD.

De acordo com a Figura 3, o primeiro grupo é coincidentemente formado pelos sítios amostrais J1, J2, J3 e J4 (entre Cachoeira de Santo Antônio e logo após a cidade de Laranjal do Jari). O segundo grupo é formado, também coincidentemente, pelos sítios J5, J6, J7 e J8 (mais à jusante da cidade de Laranjal do Jari e proximidade da cidade de Vitória do Jari, perpassando pela empresa produtora de Caulim (CADAM)).

Conforme pode ser visualizado pelo dendograma da Figura 3, claramente a técnica de agrupamento distingue os dois grupos para o parâmetro OD (Grupo 1 e Grupo 2), distribuídos por localidades próximas em blocos, tanto J1 quanto J8 se diferem dos seus respectivos grupos.

Como pode ser observado pela AAH, o sítio J8 está mais próximo da foz do Rio Amazonas. Por outro lado, o sítio J1 está mais próximo da UHESAJ. Estes dois limites físicos parecem "forçar" uma diferenciação espacial-sazonal entre os sítios estudados.

A localização do Grupo 1 (mais a montante), próximo à cachoeira de Santo Antônio do Jari, representa características determinantes e diferentes em relação ao Grupo 2 (mais a jusante). Por exemplo, em termos espaciais, causou uma diferença significativa em termos do parâmetro OD onde a maior concentração foi encontrada em pontos mais próximos à cachoeira Santo Antônio do Jari (J1), diminuindo em direção à cidade a foz (J8) (Figura 4). Portanto, o efeito da queda de nível d'água após a UHESAJ, promove condições físicas mais favoráveis de reaeração do que os pontos mais afastados, onde o fluxo turbulento é menos intenso e o escoamento do rio é mais lântico (SHRIVASTAVA et al., 2000).

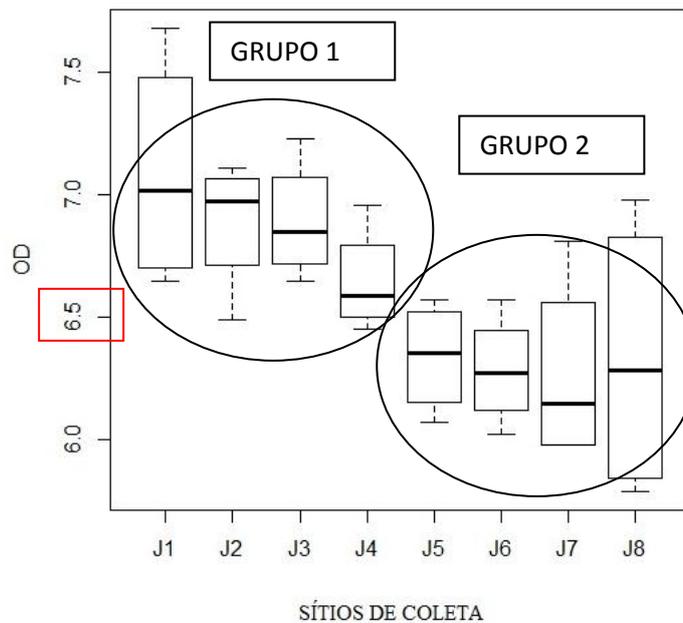


Figura 4: Box Plot da variação espacial da concentração do OD (mg/L)

Com efeito, apenas para esta análise **aceita-se a hipótese** da presente pesquisa, de que há variação espacial-sazonal significativa de pelo menos um parâmetro, mas não para os demais parâmetros.

3.2 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS FÍSICOS X PRECIPITAÇÃO

Após elaboração da matriz de correlação de Spearman, foram escolhidas apenas as análises cuja significância ($p < 0,05$) fosse confirmada. Assim, o parâmetro cor variou significativamente em relação aos períodos de coleta (Figura 5a) e mostrou uma **correlação positiva** ($r = 50\%$) com a precipitação. De acordo com os limites estabelecidos pelo CONAMA para rios de classe II, o valor limitante para a cor é de 75mg Pt/L, no entanto durante a estiagem, os valores de cor variaram entre 35 Pt/L (dezembro) e 83 Pt/L

(setembro), e durante o período chuvoso, entre 73 Pt/L (março) e 165 Pt/L (junho). Valores aproximados aos encontrados neste estudo foram observados por Oliveira e Cunha (2014), onde os autores citam valores de até 150 Pt/L durante o período mais chuvoso.

Esse elevado valor do parâmetro cor pode estar associado tanto por influências naturais, quanto para despejos de matéria orgânica de origem florestal (BOYD, 2000) sendo indesejáveis para questões de consumo humano (BRITO, 2008). Mas, para avaliar níveis de transparência, pode impedir a entrada de luz e conseqüentemente a procura de alimento por determinadas espécies de peixes (OLIVEIRA SÁ, 2012).

Assim como o parâmetro cor, o parâmetro turbidez (Figura 5b) da água mostrou uma alta variabilidade durante os períodos de coleta, com **correlação positiva ($r = 49\%$)** com a precipitação. Os valores encontrados no período de estiagem apresentaram uma variação entre 4,53 NTU e 11,53 NTU no mês de dezembro, e entre 5,65 NTU e 7,01 NTU no mês de setembro. No período chuvoso os valores variaram entre 6,0 NTU (março) e 17 NTU (junho). Para este parâmetro, valores encontrados por Oliveira e Cunha (2014), Visão Ambiental (2011) e Hydros Engenharia, (2010), são similares aos encontrados neste estudo, mas Brito (2008) e Santos (2012) indicaram valores entre 30 NTU e 3948 NTU para o rio Araguari. Segundo os autores, esses valores mais altos estão relacionados ao período de seca onde a vazão do rio era menor.

Altos valores para este parâmetro pode sugerir potenciais alterações da dinâmica hidrossedimentométrica, como consequência da erosão, relacionada às atividades humanas ou não (LUÍZÁ et al., 2012) e o seu aumento pode reduzir as taxas de fotossíntese e prejudica a busca por alimento para algumas espécies, levando a um desequilíbrio na cadeia alimentar. (BRITO, 2008; SÁ DE OLIVEIRA, 2012; CUNHA, 2013; SANTOS et al., 2014).

A variação do parâmetro sólidos suspensos totais (SST) em relação aos períodos de coleta (Figura 5c) apresentou resultado **não significativo** e **sem correlação** com a precipitação. O valor mais elevado (21 mg/L) ocorreu no período de estiagem (dezembro), assim como o de Oliveira e Cunha (2014) (16 mg/L) e Visão Ambiental (2011) (21 mg/L). O menor valor (2,2 mg/L) foi observado no período chuvoso (março), da mesma forma que foi observado no estudo realizado por Oliveira e Cunha (2014) (11 mg/L) e Visão Ambiental (2011) (16 mg/L). No entanto, para este parâmetro é preciso destacar um aumento histórico de aproximadamente 400% baseando-se em dados coletados a partir de 2005 por empresas de consultoria e órgãos do governo (HYDROS ENGENHARIA, 2010; OLIVEIRA E CUNHA, 2014; VISÃO AMBIENTAL, 2011).

Da mesma forma como apresentado no SST, os resultados estatísticos para o parâmetro sólidos totais dissolvidos (STD) **não foram significativos** para variação temporal e nem houve **correlação com a precipitação**. Os valores encontrados variaram entre 0,017 mg/L (dezembro) e 0,035 mg/L (março) (Figura 5d). Esses resultados estiveram acima dos encontrados por Oliveira e Cunha (2014), onde os autores citam a variação entre 0,011 mg/L e 0,016 mg/L. No entanto, no Araguari foi possível encontrar valores entre 9,34 mg/L (BRITO, 2008) e 5666 mg/L (SANTOS, 2012).

Os valores do parâmetro temperatura da água (Figura 5e) apresentaram **variação significativa** em relação aos períodos de coleta e **correlação negativa ($r = 80\%$)** em relação à precipitação, devido ao aumento da nebulosidade neste período (NEVES et al., 2012); e redução do índice de radiação (MARQUES et al., 2012). O maior e o menor valor encontrados foram 30,58°C no mês de setembro e 26,25°C no mês de junho respectivamente.

Esse resultado para variação da temperatura em relação aos períodos de coleta era esperado e resultados semelhantes foram encontrados por outros autores e estudos técnicos realizadas, tanto na Bacia do Jari quanto em outras bacias que apresentam influência climática

semelhante (BRITO, 2008; OLIVEIRA; CUNHA 2014; SANTOS, 2012; VISÃO AMBIENTAL, 2011).

Também foi observada uma variação temporal dos valores do parâmetro condutividade elétrica da água estatisticamente **significativa** em relação aos períodos de coleta (Figura 5f) e uma **correlação negativa ($r = 66\%$)** com a precipitação. A amplitude da variação foi entre 22 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 28 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso e no período de estiagem entre 29 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 32 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os resultados encontrados por Oliveira e Cunha (2014), Visão Ambiental (2011), e Hydros Engenharia (2010) mostram resultados semelhantes ao encontrado no presente estudo. A diminuição da condutividade nos meses com maior precipitação pode estar associada ao ciclo hidrológico (pulso hidrológico) e principalmente ao processo de diluição da concentração de íons no corpo d água que ocorre neste período mais chuvoso.

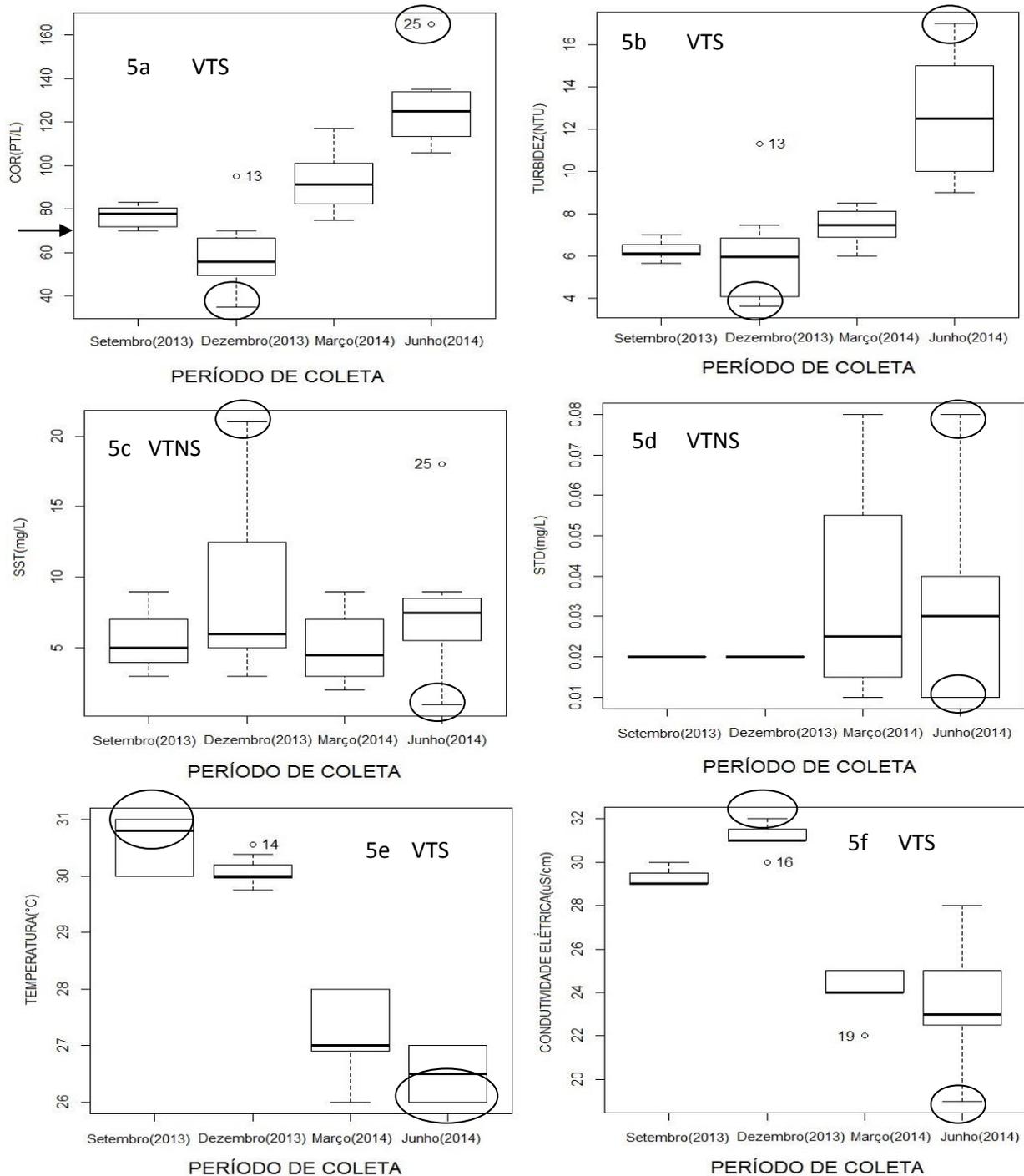


Figura 5: Resultado dos parâmetros físicos em função dos períodos de coleta. **5a:** Cor (Pt/L); **5b:** Turbidez (NTU); **5c:** SST(mg/L); **5d:** STD(mg/L); **5e:** Temperatura (°C); CE: (uS/cm). VTS= Variação temporal significativa. VTNS= Variação temporal não significativa. → Limites exigidos pelo CONAMA 357/2005. ○ Valores máximos e mínimos.

3.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS x PRECIPITAÇÃO

De acordo com os limites exigidos pelo CONAMA, os valores observados do OD se mantiveram próximos dos ideais (acima de 5,0 mg/L) e seus resultados variaram entre 5,24 mg/L no mês de setembro e 7,68 mg/L no mês de março (Figura 6a).

Não foi possível observar uma variação **estatisticamente significativa** ao longo dos meses de coleta, mas foi possível observar uma **correlação positiva** ($r = 40\%$) com a precipitação. Em alguns estudos já realizados no rio Jari, Araguari e Amazonas estes valores se mantiveram estáveis entre 5,5 mg/L e 7,5 mg/L (BRITO, 2008; HYDROS ENGENHARIA, 2010; SANTOS, 2012; OLIVEIRA; CUNHA, 2014; VISÃO AMBIENTAL, 2011).

Valores satisfatórios de OD indicam boa capacidade de aeração do Rio Jari, (com alguma contribuição fotossintética - algas) e boa capacidade de suporte aeróbio para manter vida aquática superior (CUNHA et al., 2011; SHRIVASTAVA et al., 2000). É possível supor que o principal contribuinte para os valores do OD são as características hidráulicas do rio Jari, pois rios com trechos de quedas d'água e vazão elevada ($> 1200 \text{ m}^3/\text{s}$) frequentemente possuem elevada capacidade de aeração conforme descreve Brito (2008), Bárbara et al. (2010) e Cunha et al. (2011) para o rio Araguari.

Foi possível observar uma **correlação positiva** ($r = 45\%$) do parâmetro cloreto (Figura 6b) em relação à precipitação e foram observados altos valores no mês de junho que variaram entre 1 mg/L no sítio J8 e 18 mg/L para o sítio J1. Este alto valor em relação à média pode estar associado à interação do corpo hídrico naquele ponto com materiais (minerais) oriundos ou utilizados na construção da UHESAJ, ou mesmo despejos de esgotos ou águas agrícolas/silvícolas lixiviadas ao rio pela chuva.

Mesmo com pouca variação do parâmetro amônia (NH_3) ao longo do período de coleta, foi possível observar uma **variação temporal significativa** e **correlação positiva** com a precipitação ($r = 44\%$). Os valores de concentração de amônia (NH_3) encontrados no rio Jari estão abaixo dos limites de 3,7 mg/L estabelecidos pelo CONAMA (357/2005), tendo sua maior média (0,9 mg/L) no mês de dezembro (Figura 6c).

Com exceção do mês de dezembro (0,9 mg/L), todos os meses de coleta apresentaram média entre 0,245 mg/L e 0,376 mg/L. Valores abaixo de 3,7 mg/L para este parâmetro foram encontrados em estudos realizados por Hydros Engenharia (2010), Visão Ambiental (2011) e Oliveira e Cunha (2014) assim como em outros rios do Amapá (BRITO, 2008; SANTOS, 2012). Baixos valores relacionados a esse parâmetro indicam um baixo nível de poluição recente e baixa restrição a determinadas espécies de peixe (TEBBUTT, 2002) que possam existir no trecho em estudo do Rio Jari.

O valor da concentração de magnésio (Figura 6d) variou entre 2,41 mg/L e 3,01 mg/L nos meses de junho e setembro e apresentou **correlação negativa** ($r = 50\%$) em relação à precipitação. A concentração do magnésio é importante, pois atua na formação da molécula de clorofila (ESTEVES, 2011) e juntamente com o cálcio determina a dureza da água, um indicador relacionado a potabilidade da água (GUPTA, 2010).

A quantificação do cálcio (Figura 6e) variou significativamente em relação aos períodos de coleta. Contudo não foi possível identificar uma **correlação significativa** com a precipitação. Em março foi apresentada a maior média entre os meses de coleta, cujo valor observado foi de 1,51 mg/L. Hydros Engenharia (2010) identificou valores acima de 4,44 mg/L durante os períodos de estiagem e chuvoso.

De acordo com a resolução 396/2008 do CONAMA o limite de dureza para a água potável deve ser no máximo de 500 mg/L e neste estudo somatório dos cátions cálcio e magnésio durante as campanhas sempre se apresentaram valores abaixo de 50 mg/L indicando que em relação a este parâmetro, a água apresenta-se com boa qualidade.

Em relação ao parâmetro DBO (Figura 6f) suas concentrações foram inferiores aos limites exigidos pelo CONAMA 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

(setembro) e 2,84mg/L (março). Não obstante, observou-se uma **correlação positiva** ($r = 78\%$) entre esse parâmetro e a média de precipitação. Esse valor sugere que no trecho de coleta, mesmo com uma mais alta carga de matéria orgânica e presença de esgoto sem tratamento despejado, o Rio Jari mostra alta capacidade de autodepuração (diluição de poluentes, degradação da matéria orgânica e capacidade de reaeração elevada), com baixo impacto no consumo de OD, apresentando uma boa qualidade da água para este parâmetro. Oliveira e Cunha (2014) encontraram valores de até 6,0 mg/L, isto é, acima do normal (CONAMA 357/2005) em relação aos encontrados neste estudo.

As concentrações de sulfato (Figura 6g) variaram significativamente no tempo, mas não apresentaram uma **correlação significativa** com a precipitação. Altas concentrações de sulfato na água são prejudiciais a saúde humana, pois podem provocar diarreia quando valores são encontrados acima de 100 mg/L (LETTERMAN,1999). No entanto durante as coletas os maiores valores foram observados no mês de dezembro nos pontos J7 (24 mg/L) e J8 (34 mg/L). Estes valores elevados em relação aos outros resultados podem estar associados ao despejo de material químico provocado por atividades industriais próximo aos dois sítios de coleta (CADAM e FACEL).

Os resultados observados para o fósforo (Figura 6h) mostraram-se abaixo dos limites exigidos pelo CONAMA (0,1mg/L). E este parâmetro obteve uma variação temporal **estatisticamente significativa** durante os meses de coleta, com a maior média em setembro de 2013 (0,04mg/L). No entanto, o fósforo **não apresentou grau de correlação** com a precipitação. Os valores encontrados por HYDROS ENGENHARIA(2010) e Visão Ambiental (2011), também demonstram um baixo nível de concentração de fósforo, e a média dos valores encontrados para o período de estiagem e chuvoso foram (0,014mg/L/0,036 mg/L) e (0,14 mg/L /0,03 mg/L) respectivamente.

Por ser um nutriente, o fósforo é um dos parâmetros que pode indicar o nível de eutrofização (IET) e poluição em rios por meio de fertilizantes ou detergentes e por apresentar baixos valores no Rio Jari é possível afirmar que o IET se encontra em níveis aceitáveis de concentração (ALMEIDA et al., 2012; TEBBUTT, 2002; VIGIL, 2003).

O pH (Figura 6i) não variou significativamente ao longo do período de coletas, mas foi possível observar uma **correlação negativa** ($r = 59\%$) com a média de precipitação. Com exceção do valor de 5,52 encontrado no ponto J1 no mês de março, todos apresentaram valores acima de 6,0 e menor que 7,5 mostrando que o Rio Jari pode apresentar características levemente ácidas. Valores e características similares foram encontrados por HYDROS ENGENHARIA(2010), Visão Ambiental (2011) e Oliveira e Cunha (2014) em seus estudos realizados no Rio Jari e por Brito (2008) e Santos (2012) no Rio Araguari. 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 estão entre 6 e 9 (VIGIL, 2003).

Os valores encontrados para o nitrato variaram entre 0,1 mg/L(Setembro) e 1,9 mg/L (Junho) se mantendo bem abaixo do limite especificado pela resolução 357/2005 CONAMA (<10mg/L). Oliveira e Cunha (2014) obtiveram valores entre 0,4 mg/ e 0,46 mgL. Este é um parâmetro indicador de poluição de fertilizantes ou de depósitos naturais, no entanto por se tratar do produto final do nitrogênio é considerada uma poluição remota (LETTERMAN, 1999). Neste estudo o nitrato apresentou variação temporal significativa ($p < 0,05$) e obteve correlação positiva ($r=73\%$) com a média de precipitação do respectivo mês.

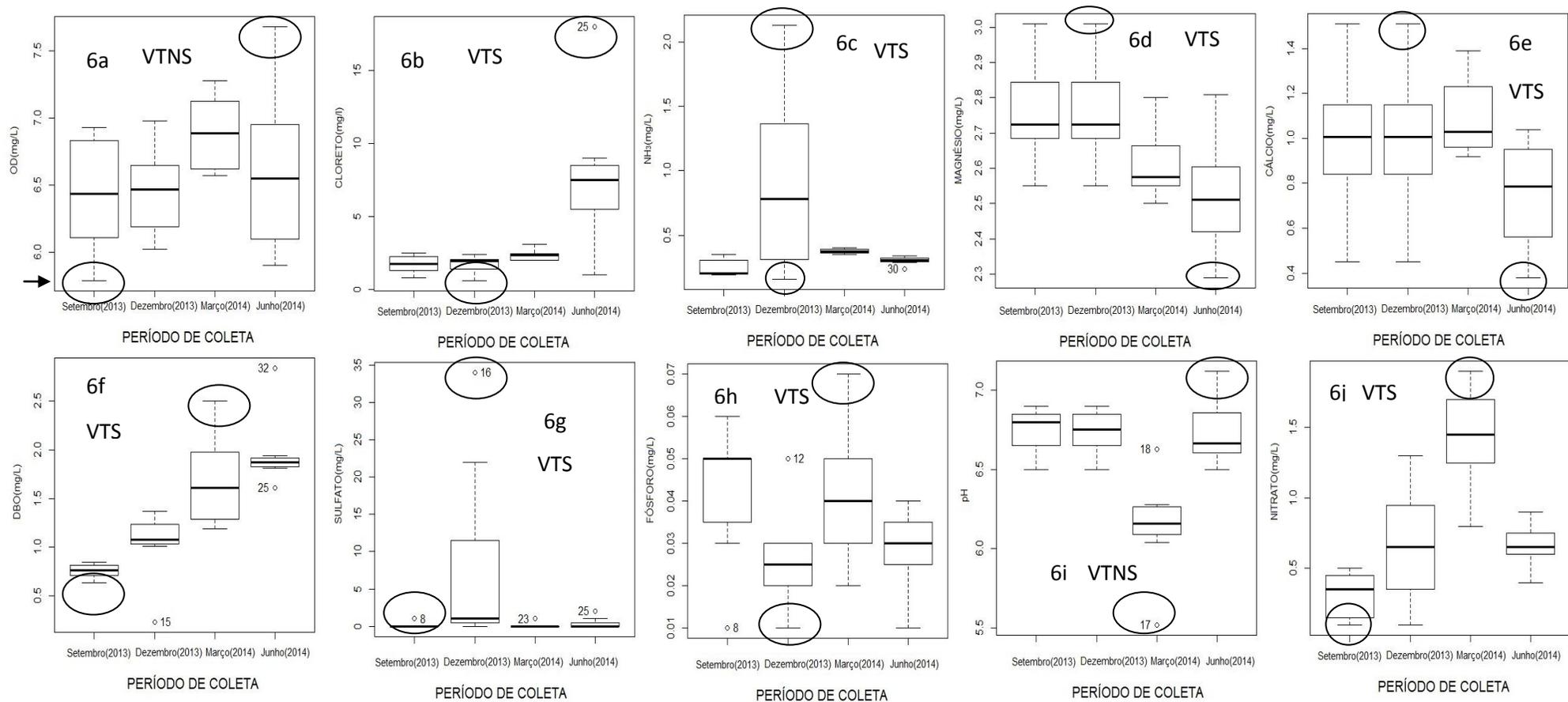


Figura 6:Variação dos parâmetros químicos em função dos períodos de coleta com desvio padrão. **6a:**OD (mg/L) ; **6b:**Cloreto(mg/L); **6c:**NH₃(mg/L); **6d:** Mg(mg/L); **6e:**Cálcio(mg/L); **6f:** DBO(mg/L);**6g:**Sulfato(mg/L);**6h:**Fósforo(mg/L);**6i:**pH; **6j:**Nitrato(mg/L).VTS= Variação temporal significativa.VTNS=Variação temporal não significativa. —>Limites exigidos pelo CONAMA 357/2005. ○Valores máximos e mínimos.

3.4 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS

Em relação às concentrações de *E. coli* (Figura 7a), o CONAMA e o Ministério da Saúde limitam a quantidade dos seus valores a zero para cada 100 mL de água para o consumo humano. Na presente pesquisa, todos os resultados mostram valores acima do recomendado pelos órgãos citados em todos os períodos e pontos de coleta (Figura 7a) com uma **correlação positiva ($r = 57\%$)** em relação à precipitação, tendo o seu aumento principalmente no mês de março e sua maior média encontrada no ponto J7 (47 mg/L), que está localizado próximo à cidade de Vitória do Jari.

No entanto, não foi possível determinar o motivo pelo qual os estudos realizados pela Visão Ambiental (2011) e Oliveira e Cunha (2014) observaram valores de 300 e 400 NMP/100mL de água de amostra, respectivamente, onde NMP é definido como o número mais provável de microrganismos/ 100mL. A presença de *E. coli* (patógeno) na água pode ser perigoso para a saúde humana quando ingeridos ou usados na preparação de alimentos (OSBILD, 2008).

Os resultados sugerem que os valores dos coliformes termotolerantes (CT) (figura 7b) estão acima do limite permitido pelo CONAMA (máxima de 1.000 Coliformes/100 mL de água para consumo humano) em mais de 75% das amostras. Além disso, é possível observar na Figura 6b que a média de valores de CT foi maior no mês de março (maior precipitação), mostrando a existência de **correlação positiva ($r=42\%$)** desse parâmetro com a precipitação. Assim como neste estudo, outras pesquisas observaram altos valores para este parâmetro (HYDROS ENGENHARIA, 2010; OLIVEIRA E CUNHA, 2014).

Elevados valores de CT podem indicar existência de despejo por esgotos sem tratamento ou elevadas taxas de lixiviação de matéria orgânica de origem florestal. De acordo com Madoux-Humery et al. (2013), a mistura de águas residuais com águas pluviais pode degradar severamente a qualidade das águas superficiais receptoras, já que modifica sua função ecológica e eleva as concentrações de poluentes minerais, orgânicos e microbiológicos que impactam a saúde pública.

O aumento dos níveis de microrganismos patógenos durante a época das chuvas pode ocorrer, provavelmente, devido à ausência de infraestrutura e serviços sanitários por parte do poder público. A saúde pública e o saneamento ambiental nesta região vêm sendo sistematicamente negligenciados pelas políticas públicas como instrumentos de planejamento, o que exige novas posturas na gestão, em que pese a participação popular e o controle social devem estar mais presentes (SILVEIRA, 2014).

A determinação das concentrações de clorofila-*a* proporciona uma estimativa da biomassa fitoplanctônica uma vez que numa população em declínio, o teor de clorofila-*a* diminui. Isso ocorre porque as concentrações de clorofila podem ser alteradas por variações de pH, ou alta incidência luminosa ou temperatura, entre outros fatores (GOLTERMAN et al., 1978).

Os resultados encontrados para o parâmetro clorofila-*a* (Figura 7c) são aceitáveis variando sua média entre 1,04 ug/L (junho) e 1,44 ug/L (setembro) demonstrando-se **estatisticamente significativos** para a variação em relação aos períodos de coleta. Contudo, não foi possível **correlacionar** a variação entre este parâmetro e a precipitação.

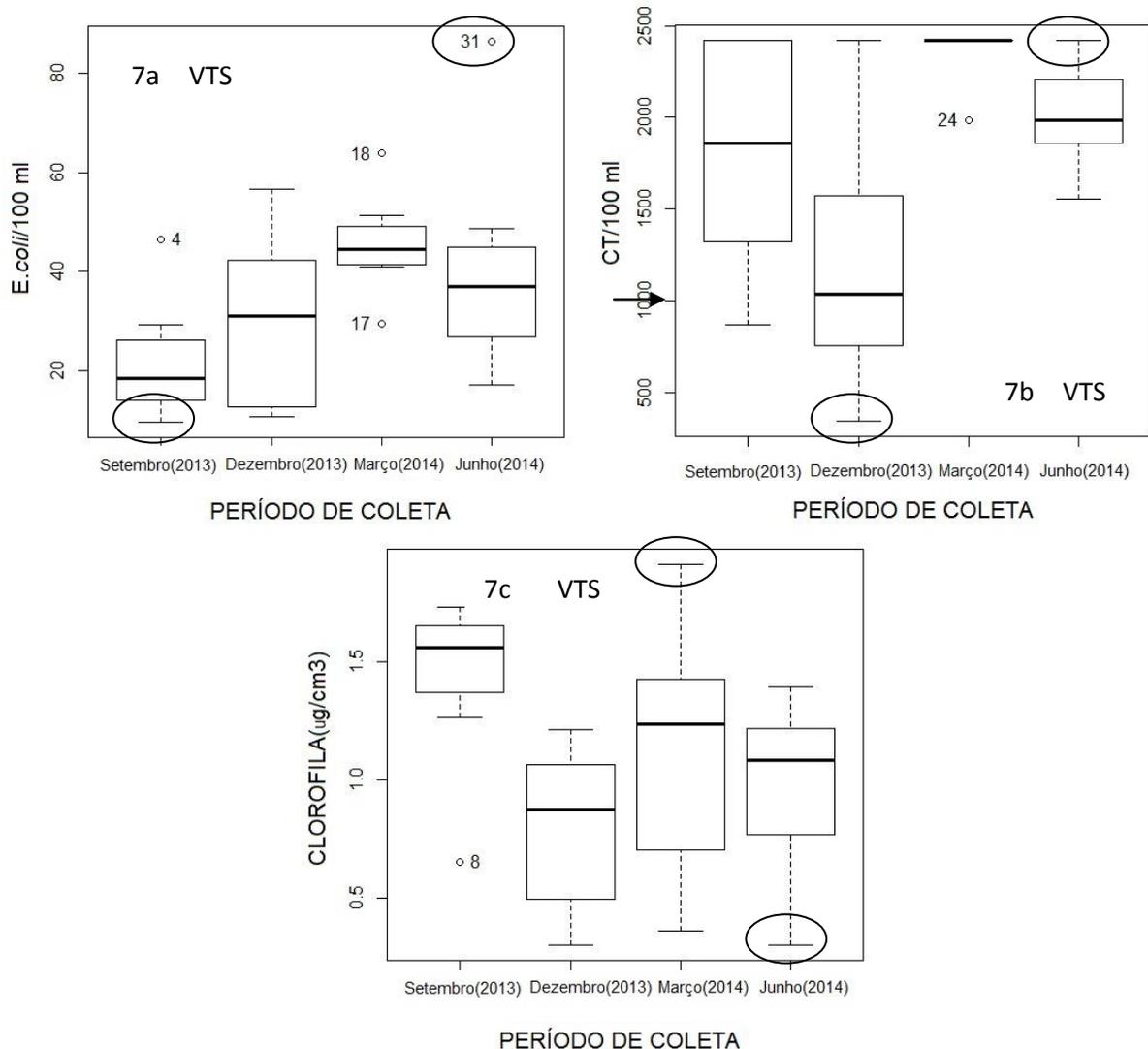


Figura 7: Variação dos parâmetros biológicos em função dos períodos de coleta. **7a:** *E.coli* (/100ml); **7b:** CT(100/ml); **7c:** Clorofila($\mu\text{g}/\text{cm}^3$). VTS= Variação temporal significativa. VTNS= Variação temporal não significativa. \rightarrow Limites exigidos pelo CONAMA 357/2005. \circ Valores máximos e mínimos.

3.5 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)

A modificação dos níveis de nutrientes (fósforo e compostos nitrogenados) em rios através do excessivo despejo de material orgânico ou produtos agrícolas são normalmente fatores que afetam o nível de eutrofização (IET). O seu alto nível pode afetar a qualidade de vida dos ecossistemas aquáticos além de estimular o crescimento excessivo de algas (cianobactérias - tóxicas ou não) modificando sua cor e contaminando-a (AFFONSO et al., 2011). A Tabela 2 mostra os valores de IET calculados em função da concentração de fósforo no corpo d água.

Os resultados do IET demonstrados na Tabela 2 indicam que o nível de eutrofização do rio Jari tende a variar entre o índice oligotrófico, mesotrófico e ultraoligotrófico ao longo dos períodos de coleta. Isto é, de acordo com o IET, o corpo hídrico no trecho varia entre baixas concentrações de nutrientes, baixa produtividade primária e produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis.

Em relação às médias, o trecho em estudo pode ser considerado basicamente oligotrófico (CHAPRA, 1997; LAMPARELLI, 2004).

Tabela 2 - IET calculado em função do fósforo. Ultraoligotrófico●, oligotrófico▲, mesotrófico■.

Período/Pontos	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8
1°→ Setembro (2013)	54■	53■	54■	54■	54■	52▲	53■	46▲
2°→Dezembro (2013)	49▲	48▲	39●	42●	50▲	51▲	45●	50▲
3°→Março (2014)	52▲	49▲	51▲	52▲	53■	55■	42●	41●
4°→Junho (2014)	49▲	50▲	51▲	53■	52▲	44●	50▲	39●

Temporalmente é possível observar que na Tabela 2 **setembro de 2013** (1ª linha horizontal) o estado trófico do rio Jari é mesotrófico entre J1 e J5 e no sítio J7. No entanto este estado muda para oligotrófico em J6 e J8. Em **dezembro de 2013** (2ª linha horizontal) o estado trófico do trecho é oligotrófico nos sítios J1, J2, J5, J6 e J8. Este estado é modificado em J3, J4 e J7 onde o trecho em pesquisa torna-se ultraoligotrófico.

Em **março de 2014** (3ª linha horizontal) o estado trófico é oligotrófico entre J1 e J4, tornando-se mesotrófico em J5 e J6 tornando-se ultraoligotrófico em J7 e J8. Em **junho de 2014** (4ª linha horizontal) o estado é oligotrófico nos sítios J1, J3, J5 e J7, tornando-se mesotrófico em J4 e ultraoligotrófico em J6 e J8.

A análise acima pode ser observada em estudos realizados por Hydros Engenharia (2010) e Visão Ambiental (2011), demonstrando que o nível de eutrofização do rio Jari não sofreu modificações significativas, ainda possuindo boa capacidade de suporte de vida mesmo com alto despejo de poluentes no rio Jari.

4 CONCLUSÃO

Neste estudo a variação da qualidade da água foi monitorada durante um ano. Os resultados foram testados por três métodos estatísticos multivariados, cujo objetivo foi identificar as alterações espaciais e sazonais de 19 parâmetros de qualidade da água em 8 sítios amostrais distribuídos em um trecho de 80 km do baixo rio Jari-AP.

Para maioria dos parâmetros (16 variaram temporalmente e 1 variou espacialmente) com correlação (positiva ou negativa) com a precipitação (sazonal), dependendo do parâmetro (físico, químico ou biológico).

Observou-se que nos sítios de coleta mais importantes, como centros urbanos, foram considerados como parcialmente influenciadores da qualidade da água (CT e *E. coli*), como consequência de despejos de esgoto *in natura* e de contribuição natural oriunda dos solos e cidades Laranjal do Jari e Vitória do Jari. Por outro lado, alguns sítios a jusante de indústrias de celulose e caulim também parecem influenciar sensivelmente alguns parâmetros da qualidade da água, como presença marcante de sulfato e cloreto. Além disso, com base nas operações de construção da UHESAJ, um parâmetro físico como a cor, foi marcante, com alterações significativas do uso do solo e da terra, e que parecem contribuir com a elevação de suas concentrações ao longo do período estudado.

Além disso, ao longo da revisão da literatura, a legislação do CONAMA 357/2005 tem se mostrado uma referência necessária para comparações com padrões de qualidade da água no Brasil, mas não "rigorosamente" adequada para muitos corpos d'água das bacias amazônicas. Nestes ambientes, devido as características limnológicas muito específicas, são

diferenciadas de outras regiões do país. Há frequentemente casos em que os parâmetros limites da legislação são extrapolados, tanto para mais quanto para menos, como é o caso da cor.

Mas a hipótese de variação espacial-sazonal da qualidade da água é confirmada. Assim, algumas conclusões relevantes podem ser tecidas a seguir.

- 1) O teste Kruska-Wallis e a Análise de Cluster utilizados neste estudo não indica existência de variação espacial dos parâmetros ao longo dos sítios de coleta. Para o OD é possível observar existência de decréscimo de concentração a partir do ponto J1 (cachoeira do Santo Antônio do Jari) até o ponto J8 (próximo a Vitória do Jari) distante 80 km. Com efeito, este resultado sugere forte influência da queda d'água na Cachoeira e UHESAJ, que provocam intensificação da aeração (turbulência e reoxigenação) na água. Portanto, com o OD tende a se estabelecer mais próximo da saturação. Com a distância da queda d'água e da UHESAJ, há tendência de retorno ao equilíbrio natural da concentração de OD no sentido de montante para jusante, de acordo com a temperatura pré-estabelecida.
- 2) A variação sazonal (temporal) dos parâmetros (cor, turbidez, temperatura, condutividade elétrica da água, DBO, amônia, fósforo, pH, cálcio, sulfato, magnésio, nitrato, cloreto, coliformes termotolerantes (CT), *Escherichia coli* e clorofila-a) é significativa. Entretanto, somente alguns parâmetros como (OD, SST, STD) não mostram variações significativas. Neste aspecto, duas hipóteses alternativas podem ser consideradas em termos gerais: a) a metodologia de coleta ou intervalo e a abrangência das campanhas deveriam ser mais intensas, de modo a captar melhor as variações medidas. Ou, b) as variações de fato não ocorreram, sugerindo que a metodologia registrou exatamente o que ocorre no ecossistema aquático em relação a qualidade da água no trecho e período de estudo.
- 3) É possível supor relativa influência antrópica no trecho em estudo. Tem sido observado altos valores de concentração de *E. coli* (normalmente relacionados com despejo de esgotos sanitários), além de aumento da concentração de sulfato em áreas a jusante das indústrias CADAM e FACEL.
- 4) Houve correlação (*Spearman*) de vários parâmetros (cor, turbidez, temperatura, OD, cloreto, amônia, magnésio, DBO, sulfato, pH, *E. coli*, coliformes termotolerantes (CT), clorofila-a) com hidrologia/precipitação, sugerindo forte dependência destes com o ciclo hidrológico sazonal (precipitação), mas não tanto espacialmente. Tais correlações foram significativas quase que independentemente dos períodos chuvosos e de estiagem (seco). Estas correlações também são frequentes na literatura mas, quando possíveis de serem utilizadas, normalmente confirma-se esta hipótese, como é o presente caso do trecho do baixo Rio Jari-AP.
- 5) Em face das observações sobre o IET nos 80 km do Rio Jari mostram que as modificações ambientais em curso, empreendidas pelo uso e ocupação da terra devido a projetos econômicos e expansão urbana locais, podem estar associadas com o atual nível de equilíbrio dinâmico das condições físicas, químicas, microbiológicas e dos indicadores de eutrofização detectados na presente pesquisa. Por outro lado, a interpretação dos IETs apresentados pela Tabela 2, independentemente das análises e dos testes estatísticos, sugere que o fenômeno da **variação dinâmica da qualidade da água** é mais complexo do que se esperava. Esta variação deve ser analisada à luz de outros estudos semelhantes, mas tal variação ainda não tinha sido detectada por nenhum outro estudo na bacia do rio Jari.

Assim, em face do início da operação da UHESAJ, ocorrido logo após o término do presente estudo, os resultados e conclusões apresentados nesta investigação servem como alerta e "base referencial" para estudos ambientais e ecológicos atuais e futuros, revelando toda a complexidade ambiental desses ecossistemas. Mas também podem ser utilizados especificamente como *start up* de Planos Básicos Ambientais (PBAs) para fins de gerenciamento da qualidade da água, tanto do ponto de vista antrópico quanto do ponto de vista dos mecanismos de adaptação às mudanças do clima. Isto é, variação da qualidade da água fortemente vinculada com a precipitação.

Adicionalmente, este estudo pode também contribuir como **base de planejamento e gestão na área de recursos hídricos e saneamento ambiental** com o objetivo de tratar de questões do crescimento urbano local, o qual é realizado sem planejamento adequado das cidades de Laranjal do Jari e Vitória do Jari. Com efeito, se estas informações forem utilizadas como linha de base antes da operação e monitoramento ambiental da UHESAJ, seria possível futuramente detectar quais parâmetros da qualidade da água **mais sofreriam modificações**. Mas para isso, é necessário dispor de base de estudos pretéritos, como os da presente investigação, servindo como informação de suporte a tomada de decisão com vistas à conservação de ecossistemas aquáticos, abastecimento público água, esgotamento sanitário, lazer, pesca, aquicultura, etc., de modo a atender os **múltiplos usos** deste precioso recurso natural na bacia hidrográfica do Rio Jari.

5 AGRADECIMENTOS

Ao **CNPq** (Processo 475614/2012-7) pelo suporte financeiro aos projetos: "Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água no Estuário do Baixo Rio Araguari - AP; **CENBAM/CNPq** (Convênio nº 722069/2009) INCT da Biodiversidade da Amazônia; Trocas - "Net Ecosystem exchange of the Lower Amazon: from land to the Ocean and atmosphere", Processo **FAPESP** n 12/51187-0 e "Rede de Gestão Integrada de Monitoramento da Dinâmica Hidroclimática e Ambiental do Estado do Amapá". Convênio: 702813 – **SUDAM**. Agradecimentos ao Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis (NHMET/IEPA) pelas informações hidrometeorológicas e ao Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais (**LQSAMSA/UNIFAP**) pelo apoio logístico e laboratorial.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, AG; BARBOSA, C. and NOVO, EMLM.. **Water quality changes in floodplain lakes due to the Amazon River flood pulse: Lago Grande de Curuaí (Pará)**. *Braz. J. Biol.* [online]. 2011, vol.71, n.3, pp. 601-610. ISSN 1519-6984.
- AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M. & GOMES, L. C. 2005. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. **Megadiversidade** 1: 70-78.
- ALMEIDA, C.; GONZALEZ, S. O.; MALLEA, M.; GONZALEZ, P. A recreational water quality index using chemical, physical and microbiological parameters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 19, p. 3400–3411, 2012.
- APHA -AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER POLLUTION CONTROL FACILITIES – WPCF.

Standard methods for examination of water and wastewater. 21th Edition. Washington, D.C., 2005

BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; SIQUEIRA, E. Q. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. **Revista de Biociências**, v. 16, n. 1, p. 57-72, 2010.

BIEGER, L. et al. **Are the streams of the Sinos River basin of good water quality? Aquatic macroinvertebrates may answer the question.** *Braz. J. Biol.* [online]. 2010, vol.70, n.4, suppl., pp. 1207-1215. ISSN 1519-6984.

BOYER et al. Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. *Ecological indicators*, 2009, 13(6), p. 667-677.

BOYD, C. E. **Water quality particulate matter, turbidity, and color.** Volume 10.1007978-1-4615-4485-2 issue Chapter 6, 2000.

BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n. 396 de 04 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. MMA

BRITO, D. C. Aplicação do Sistema de Modelagem da Qualidade da Água QUAL2KW em Grandes Rios: O Caso do Alto e Médio Rio Araguari – AP. 2008.144p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical), Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2008.

CETESB (2007). Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006. (Série Relatórios). São Paulo: CETESB, 2007.

CHAPRA, S.C. *Surface Water-Quality Modelling.* McGraw-Hill, 843 p.1997.

CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; CUNHA, H. F. A; SCHULZ, H. E. 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. Fundação Universidade Federal do Pampa, Jaguarão/RS, p. 697. 2011.

CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; JUNIOR, A. C. B.; PINHEIRO, L. A. DOS R.; CUNHA, H. F. A.; SANTOS, E. S.; KRUSCHE, A. V. Challenges and Solutions for Hydrodynamic and Water Quality in Rivers in the Amazon Basin. IN: SCHULZ, H. E.; SIMÕES, A. L. A.; LOBOSCO, R. J. Hydrodynamics - Natural Water Bodies. InTech, Rijeka/Croácia, p.67-88. 2012.

CUNHA, A. C.; PINHEIRO, L. A. R.; CUNHA, H. F. A. Modelagem e simulação do escoamento e dispersão sazonais de agentes passivos no rio Araguari: Cenários para o AHE Ferreira Gomes I - Amapá/Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, p. 57-85, 2013.

CUNHA, E. D. S; CUNHA, A. C; SILVEIRA Jr, A. M.; FAUSTINO, S. M. M. Phytoplankton of two rivers in the eastern Amazon: characterization of biodiversity and new occurrences. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, p. 364-377, 2013a.

CUNHA, A. C. Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água.. **Biota Amazônia**, v. 3, p. 124-143, 2013

DESORTOVÁ et al. Variability of phytoplankton biomass in a lowland river: Response to climate conditions. *Limnologia*, 2010.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

GOLTERMAN, H. L., CLYMO, R. S. & OHNSTAD, M. A. M. *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*: Oxford. Blackwell Scientific Publications, v.I.B.P. Handbook. 8. 1978. 213 p.

GUPTA, S. K. *Modern Hydrology and Sustainable Water Development*. 1 ed. By Blackwell Publishing Ltd. 464p, 2010.

HYDROS ENGENHARIA. Inventário hidroenergético da bacia hidrográfica do Rio Jari / PA-AP. Empresa de Pesquisa Energética. [S.l.], junho de 2010.

IDEXX Laboratories Inc.. **Cartilha explicativa do método colilert, Tecnologia do Substrado Definido**. Disponível no site www.idexx.com.br.2002

KRUPEK, R. A.; BRANCO, C. C. Z.; PERES, C. K. Variação sazonal de alguns parâmetros físicos e químicos em três rios pertencentes a uma bacia de drenagem na região centro-sul do Estado do Paraná, Sul do Brasil. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 431-438, 2008.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo : USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

LETTERMAN R. D. **American Water Works Association 5 ed. United States of America**. McGRAW-HILL, INC. 1999, 1231p.

LUCAS, E. W. N.; BARRETO, N. J. C; CUNHA, A. C. Variabilidade hidrológica da Bacia do Rio Jari (AP): estudo de caso do ano 2000. In: **Tempo, Clima e Recursos Hídricos**: resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. Macapá: IEPA, 2010. p. 119-134.

LUÍZÂ. M. E.; PINTO, MARIA L C;SCHEFFER. E. W O. **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, p. 290-310, 2012

MADOUX-HUMERY, A. S.; DORNER, S.; SAUVÉ, S.; ABOULFADL, K.; GALARNEAU, M.; SERVAIS, P. et al. Temporal variability of combined sewer overflow contaminants: Evaluation of wastewater micropollutants as tracers of fecal contamination. **Water Research**, n. 47, p. 4370-4382, 2013.

MARQUES, D. D.; BRITO, A. U.; CUNHA, A. C. ;SOUZA, L. R. Variação da radiação solar no Estado do Amapá: Estudo de Caso em Macapá, Pacuí, Serra do Navio e Oiapoque no período de 2006 a 2008.. *Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)*, v. 27, p. 287-294, 2012.

MELO, L. P.; CUNHA, E. D. S. e CUNHA, A. C. Variação espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica (clorófila a) no Alto e Médio Araguari - AP. In: Elizabeth Viana Moraes da Costa, Liudimila Miyar Otero. (Org.). Ciências Biológicas: Resultados dos projetos de iniciação científica da Universidade Federal do Amapá (2009 -2011). 1ed. Macapá - Amapá: Editora da Universidade Federal do Amapá, v. 1, p. 159-166. 2014.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. <http://www.transportes.gov.br/>. 2014

NEMEROW, N. L. **Scientific stream pollution analysis**. New York: McGraw-Hill. 1974.

NEVES, D. G.; CUNHA, A. C.; SOUZA, E. S.; BARRETO, A.C. L. Modelagem climática regional durante dois anos extremos de precipitação sobre o Estado do Amapá. *Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)*, v. 26, p. 569-578, 2011.

OLIVERA, J. C. S. **Ecologia da ictiofauna e análise ecossistêmica das áreas de influência direta da HUE Coaracy Nunes, Ferreira Gomes – AP**. 2012. 234 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Pará/UFPA, Belém, 2012.

OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. 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, 2014b.

OLIVEIRA, L.L. et al. Características Hidroclimáticas da Bacia do Rio Araguari (Ap) In: CUNHA et al. *Tempo, Clima e Recursos Hídricos*. ed. IEPA, Macapá, 2010.

OSBILD, D., VASSEUR, P., OSBILD; VASSEUR. *Water Quality: The contribution of advanced technologies*. Nancie: International Water Centre, Vandoeuvre, France, 1998. p37-49, 2008.

PARSONS, T. R.; STRICKLAND, J. D. H. Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Marine Res.* Vol. 2, 155-163. 1963.

PASSAVANTE, J. Z. O. & FEITOSA, F. A. N. 1989. Hidrologia e plâncton da plataforma continental de Pernambuco. 2. Biomassa primária do fitoplâncton. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE GERENCIAMENTO COSTEIRO. III. Fortaleza, 1985. Anais ...p. 63-69.

PRIMAVERA et al. Development of a Simple Biological Model of Vertical Phytoplankton Distribution. Marine Science Institute, University of the Philippines, 1101 Diliman, Quezon City, Philippines.

R CORE TEAM (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>

SANTOS, E. S. **Modelagem Hidrodinâmica e Qualidade da Água em na Foz do Rio Araguari-AP**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Amapá/UNIFAP, 2012.

SHRIVASTAVA, A. K.; SWAROOP, J.; JAIN, N. Effect of seed on BOD exertion. **Indian Journal of Environmental Health**, v. 42, n. 2, p. 75–78, 2000.

SILVEIRA, J. S. Aspectos Hidrometeorológicos da bacia do rio Jari no período de 1968 a 2012. 2014. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais) Universidade Federal do Amapá/2014

SIPAUBA-TAVARES, LH.; GUARIGLIA, CST. and BRAGA, FMS.. **Effects of rainfall on water quality in six sequentially disposed fishponds with continuous water flow.** *Braz. J. Biol.* [online]. 2007, vol.67, n.4, pp. 643-649. ISSN 1519-6984.

SOBRINHO, T. R. G. et al. 2012. **Classificação climática conforme a metodologia Köppen do município de Laranjal do Jari/Amapá/Brasil.**

STRICKLAND, J. D. H., PARSONS, T. R. **A manual of sea water analysis.** *Bulletin Fisheries.* Research Board of Canada, Ottawa, n. 125, p. 1- 205. 1965.

TCHOBANOGLIOUS, G.; SCHROEDER, E. D. Water quality: Characteristics, modeling, modification. 1. ed. Addison-Wesley (Reading, Mass.), 768 p, 1985.

TEBBUTT, T. H. , Y. **Principles of Water Quality Control.** 5. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 279p.

TUCCI, C. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 1. ed. RBRH, 943 p, 1993.

UDEIGWE, Theophilus K.; WANG Jim J. **Biochemical Oxygen Demand Relationships in Typical Agricultural Effluents.** *Water Air Soil Pollut* , 213:237–249, 2010.

VELZ, C. J. Applied stream sanitation. John-Wiley & Sons. 2th Edition. 799 p. 1984.

VISÃO AMBIENTAL. RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA-UHE SANTO ANTÔNIO DO JARI. ECE PARTICIPAÇÕES. 2011.

VIGIL, K. M. **Clean Water: An Introduction to Water Quality and Water Pollution Control.** Oregon State University Press Corvallis, 2003. 181 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. Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. **Nature Geoscience**, v. 19, p. 1-8, 2013.

ARTIGO 3 - Índice de estado eutrófico (IET) e tempo de residência (T_r) associados à hidrodinâmica no baixo rio Jari-AP

ÍNDICE DE ESTADO EUTRÓFICO (IET) E TEMPO DE RESIDÊNCIA (T_r) ASSOCIADOS À HIDRODINÂMICA NO BAIXO RIO JARI-AP

Carlos Henrique M. de Abreu¹ e Alan Cavalcanti da Cunha²

1. Mestrando em Biodiversidade Tropical PPGGIO - UNIFAP, Licenciado em Física. Campus Universitário Marco Zero do Equador Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 02, Bloco T, Bairro Universidade 68903-419 – Macapá, AP, Brasil. carlos_767@ig.com.br (email principal)

2. Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical PPGGIO- UNIFAP, Eng. Químico. Prof. Adjunto III do Curso de Ciências Ambientais - UNIFAP. Campus Universitário Marco Zero do Equador Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 02, Bloco T, Bairro Universidade 68903-419 – Macapá, AP, Brasil. alancunha@unifap.br

RESUMO

O objetivo da investigação é avaliar a influência do regime hidrológico e da hidrodinâmica sobre a taxa de renovação ou tempo de residência (T_r) e sua relação com parâmetros limnológicos (IET) em 80 km de extensão do Rio Jari-AP, um rio tropical amazônico sob impactos urbanos, industriais e hidrelétrico. A metodologia de investigação foi dividida nas seguintes etapas: **a)** determinação do IET em função da concentração de fósforo utilizando-se a equação de Lamparelli (2004), considerando dois períodos sazonais, o chuvoso e o seco e três seções de monitoramento de vazão: J1, J2 e J8; **b)** estudo hidrodinâmico do escoamento e batimetria do canal natural, utilizando método acústico (ADP - Accustic, Doppler Profiller), cálculo empírico do volume no referido trecho de canal em 10 km de extensão; e **c)** análise estatística de uma série histórica de 30 anos de vazões mensais médias (1980 - 2010) (Lucas et al., 2010) e sua correlação com o IET medidos. A investigação mostra que, nas três seções de monitoramento de vazão e da qualidade da água, realizadas entre 2013 e 2014, o seguinte: a estimativa do volume do trecho experimental do canal (10 km) variou entre $2,4 \times 10^7 \text{ m}^3$ a $1,125 \times 10^7 \text{ m}^3$. Como a variação de T_r é inversamente proporcional à vazão ($T_r = V_i/Q_i$), nos períodos de estiagem foi $T_r \approx 33\text{h}$ e, no chuvoso, $T_r \approx 3\text{h}$. Concluiu-se que o IET, apesar de apresentar explícitas variações espaço-sazonais, com valores limites máximos/mínimos bem definidos frequentemente no período seco, testes estatísticos de correlação entre vazão e IET não acusaram significância ($p > 0,05$), provavelmente devido a equação utilizada para o cálculo do IET.

Palavras-chave: Série histórica de vazão, concentração de nutrientes, balanço de massa, potencial de eutrofização (IET).

1 INTRODUÇÃO

Os rios possuem características hidrológicas, morfológicas, químicas e ecológicas (espécies aquáticas) bastante variáveis, especialmente por serem dinâmicas, algumas de difícil medição e influenciadas pela sazonalidade climática ou localização geográfica (CUNHA et al., 2013a). As principais características de um rio são: o nível e a profundidade da água, a cota do fundo, os leitos maior e menor, a declividade e a vazão (TUCCI, MENDES, 2006).

Com efeito, estudos sobre balanço hídrico em bacias hidrográficas são de vital importância para a compreensão de processos hidrológicos e para proteção e gestão dos recursos hídricos (UNLAND, 2014). No entanto, a previsão do comportamento

hidrológico em bacias torna-se uma tarefa complexa ao se levar em conta suas características físicas e influências climáticas.

Além disso, a lacuna existente em relação aos dados disponíveis, principalmente em relação a pequenas bacias, faz com que sejam utilizadas metodologias que extrapolem os estudos voltados para vazão através de dados de precipitação e simulação que possuem a capacidade de gerar curvas de permanência de pequenas bacias (BLANCO et al., 2007). Na região Amazônica essas barreiras são acentuadas por questões logísticas e naturais que aumentam os custos de aquisição desses dados (COSTA et al., 2011).

A modificação do regime hidrológico, devido à atuação antrópica ou até mesmo natural, produz consequências ambientais que modificam a profundidade, escoamento superficial (vazão), regime de transporte sólido e morfologia do leito, temperatura e qualidade da água em um rio (CUNHA et al., 2013; TUCCI; MENDES, 2006).

Além disso, a hidrodinâmica influencia duas características importantes de um rio, relacionado-as com a dispersão da matéria: advecção e difusão/dispersão. Ambas tendem a interferir na cadeia alimentar e no equilíbrio ecológico dos ecossistemas aquáticos (UNLAND et al., 2014; WORRALL et al. 2014). A advecção está mais ligada ao transporte longitudinal de matéria ao longo do curso do rio, sem modificar ou misturar seus componentes de forma significativa, mas depende do perfil de velocidade do escoamento. A dispersão horizontal/transversal é responsável pela mistura lateral/vertical de plumas de agentes passivos na água (nutrientes, poluentes, etc), onde os processos de difusão molecular e turbulenta atuam dentro do escoamento natural (CUNHA et al., 2013a; JI, 2008).

A vazão é um resultado do balanço hídrico em uma bacia. Portanto, também influencia diretamente a velocidade do fluxo de escoamento do rio e desempenha um papel fundamental na ecologia dos ecossistemas lóticos, constituindo-se em fator determinante na estrutura e diversidade das comunidades bióticas. Além disso, controla o tempo de residência (T_r) nos diversos segmentos dos corpos hídricos (BRITO, 2008; BRAUNSCHWEIG et al, 2003; CUNHA et al., 2011; SANTOS et al., 2014).

Como a vazão está associada a um volume de controle, e este último ao tempo de residência (T_r) de uma determinada massa d'água, os corpos d'água presente em rios apresentam fundamental importância para o estudo dos processos físicos, químicos e biológicos - limnológicos, uma vez que sua determinação permite "estabelecer" o comportamento médio da dinâmica de escoamento em um determinado "volume de controle" previamente definido (trecho de rio, reservatório, lago, etc.), influenciando na variação da concentração, diluição e tempo de permanência de substâncias no sistema, tendo implicações diretas na qualidade da água e cadeia alimentar dos ecossistemas (CUNHA et al., 2013a; CUNHA et al., 2011; RUEDA et al., 2005; WORRALL et al., 2014).

No geral, estudos sobre o T_r são voltados para ecossistemas lênticos (lagos e reservatórios), pois normalmente esses corpos possuem baixa taxa de renovação de suas águas e conseqüentemente maior probabilidade eutrofização. Mas um dos principais problemas associados ao T_r em um corpo hídrico é o nível de eutrofização (IET), pois este depende da concentração e permanência de nutrientes como o fósforo e nitrogênio em um determinado volume de água (JI, 2008). Uma concentração "excessiva" dos nutrientes leva a um crescimento também excessivo de plantas aquáticas, provocando o desequilíbrio dos corpos d'água e conseqüentemente perda de qualidade da água (FIGUEIRÉDO, 2012; VIGIL, 2003).

O aumento de cargas de nutrientes nas águas decorre de alterações nos mananciais, tais como: remoção de florestas, desenvolvimento agrícola e industrial, mas, principalmente, pelo aumento da urbanização (GALLI; ABE, 2010) e construção de reservatórios de

hidrelétricas (SOITO; FREITAS, 2010). Contudo, tais efeitos são imprevisíveis nas diversas bacias hidrográficas, em especial na Amazônia (CUNHA et al., 2014).

Diversos estudos acadêmicos (BASTOS, 2010; CUNHA et al., 2012; CUNHA et al., 2013; CUNHA et al., 2015; SANTOS, 2012) têm sido relacionados com a hidrodinâmica de rios, especialmente no Estado do Amapá, nos quais foram empreendidas diversas metodologias de estudo ao longo dos últimos anos (BRITO, 2008; CUNHA, 2013; OLIVEIRA; CUNHA, 2014; SANTOS, 2014). No entanto até o presente momento não foram feitas pesquisas voltadas a análise das características hidrodinâmicas do baixo rio Jari, especialmente as associadas com Tempo de Renovação das águas (T_r), e o indicador de eutrofização, o IET.

Sendo esta uma lacuna importante para os estudos limnológicos da bacia do Rio Jari, em face da construção de UHE no seu baixo curso, a presente pesquisa torna-se relevante para investigar o nível de influência da hidrodinâmica neste trecho do Rio Jari, especialmente devido à localização próxima de cidades como Laranjal do Jari e Vitória do Jari, ambas impactantes ambientalmente. Mas a instalação da UHE Santo Antônio do Jari (UHESAJ) apresenta uma relevância maior. Assim esta investigação tem como objetivo analisar a variação de T_r ao longo de um ciclo hidrológico num trecho de 10 km de extensão.

A esse trecho de 10 km de extensão foi denominado como "trecho experimental", sobre o qual foram aplicados balanço de massa simplificados, com base em uma série mensal média de vazão apresentadas por Lucas et al. (2010). Essa série é utilizada por dois motivos: ser uma série organizada e facilmente disponível na literatura para a referida bacia hidrográfica e foi analisada hidrológicamente pelos autores, facilitando a interpretação hidrológica e, permitindo o aprofundamento da abordagem hidrodinâmica.

A principal hipótese da pesquisa é que o IET varia significativamente no trecho de rio estudado, tanto espacial quanto sazonalmente. Além disso, tal variação está fortemente associada com as vazões ou ciclo hidrológico. Assim, uma hipótese complementar é que a vazão (quantificada experimentalmente nos sítios J1 - J3 compreendendo 10 km, pode ser considerada como um gradiente ecológico abiótico relevante para a determinação das variações de IET.

Para testar tais hipóteses, o objetivo geral da presente investigação é estimar os IETs e associá-los à variação do comportamento da vazão do baixo Rio Jari, utilizando-se duas abordagens simples: a) estudo experimental para determinação de descarga líquida, *in loco* e b) uma avaliação de correlação múltipla entre a vazão calculada/estimada com o IET no espaço e no tempo entre 2013 e 2014.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa foi desenvolvida na bacia hidrográfica do Rio Jari, localizada ao norte do Brasil, sendo sua fronteira situada entre os estados do Amapá e Pará (Figura 1). Sua área aproximada é de 57.000 Km² e os seus principais tributários são os rios Curap, Colari, Cuc, Mapari, Noucoure, Iratapuru, Ipitinga e Carecuru, e igarapé Caracaru (ANA, 2010; HYDROS ENGENHARIA, 2010; OLIVEIRA; CUNHA, 2014).

cidade de Laranjal do Jari. Observa-se a curva de vazões médias mensais em vermelho indicando a climatologia de 30 anos (normalidade das vazões - 1980 - 2010) ao longo do período anual. Para efeito didático, foi inserida a curva em azul indicando uma variação anual com vazões mensais extremas ocorridas em 2000 (maior cheia da série) (LUCAS et al., 2010).

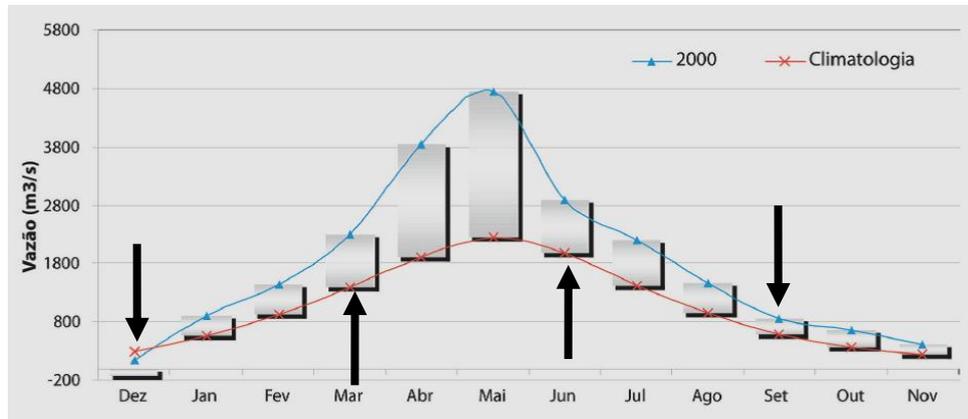


Figura 2 - Comparações entre a vazão histórica (climatologia de 30 anos) e um evento extremo ocorrido em 2000 registradas pela estação de São Francisco - Rio Jari-AP. As setas verticais indicam os períodos climáticos em que foram realizadas as campanhas de monitoramento da qualidade da água e IET.

Fonte: Adaptado de LUCAS et al., 2010.

Os estudos de Lucas et al. (2010) acusaram variabilidade significativa da precipitação/cota/vazão na mesma região do rio Jari e observou que a estação de São Francisco (referente à Figura 2) mostra um forte sinal de variações pluviométricas interanuais durante o período chuvoso.

Destacam-se as vazões extremas de 2000, as quais sugerem que o "pulso hidrológico" é acentuado e pode provocar as anomalias positivas (ou negativas) de chuva ao longo do tempo (no presente caso, seis meses no período chuvoso), os quais impactaram o regime hidrológico, representando um evento de cheia de ordem significativa (OLIVEIRA; CUNHA, 2014). Por este motivo é importante que os estudos de monitoramento tenham sido realizados em anos climatologicamente "normais", isto é, em condições semelhantes aos da curva vermelha da Figura 2.

No presente estudo, bem como no de Oliveira e Cunha (2014), a precipitação, nível de cota e vazão na Estação de São Francisco variaram dentro do intervalo considerado como normal (linha vermelha da Figura 2). Portanto, este foi um dos critérios metodológicos considerados para que se considerasse o "comportamento" hidrológico atual, ou da curva de vazão mensal/anual, como normal.

Este critério é ecologicamente importante porque, como podem ser observadas por ambas as curvas (vermelha e azul da Figura 2), somente um único comportamento extremo da vazão altera significativamente o escoamento, a capacidade de diluição, bem como os parâmetros gerais de escoamento superficial. Consequentemente, influencia significativamente os parâmetros da qualidade da água, podendo inclusive "mascarar" as demais influências (urbanas, industrial, UHE, etc), onde fontes pontuais ou difusas de poluição da água, poderiam ser praticamente invisíveis à percepção e à interpretação adequada da sua variação (CUNHA et al., 2011b).

2.2 ESCOLHA DOS SÍTIOS DE COLETA E MÉTODOS DE CÁLCULO DO IET

Para as amostras do Fósforo Total (PT) foram selecionados 8 sítios de coleta ao longo de um trecho de 80 km no rio Jari (Figura 1), compreendidos entre a cachoeira Santo Antônio do Jari (próxima ao local de instalação da barragem UHESAJ) até a região posterior à cidade de Vitória do Jari.

A distância entre os sítios J2 e J3 foi da ordem de 10 km. A escolha das distâncias foi com base em estudos realizados no rio Araguari por Brito (2008) e Bárbara et al. (2010), respeitando as características hidráulicas do escoamento.

Normalmente, estas distâncias têm permitido uma mínima detecção de variações quantitativas de diversos parâmetros da qualidade da água ao longo do ciclo hidrológico no Rio Araguari (OD, DBO, pH, sólidos suspensos, nutrientes, etc), cujo porte é semelhantes ao do Jari (CUNHA et al., 2011). Esta condição também foi utilizada por Oliveira e Cunha (2014) onde se percebeu variações espaciais-sazonais significativas da qualidade da água. A presente pesquisa utilizou inclusive alguns dos mesmos sítios amostrais utilizados pelos referidos autores, outros próximos (J1 a J6).

No referido trecho do baixo Rio Jari, foram realizadas quatro campanhas amostrais: setembro (2013), dezembro (2013), março (2014) e junho (2014), indicados pelas setas pretas na Figura 2. O intervalo temporal entre os períodos de coleta foi delineado de modo a melhor representar as variações características do ciclo hidrológico da bacia (LUCAS et al., 2010; OLIVEIRA; CUNHA, 2014; SILVEIRA et al., 2014): chuvoso, transição chuvoso, seco, transição seco, mas também às limitações logísticas de transporte entre o local de coleta e o laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais da UNIFAP (LQSMSA) de aproximadamente 367km de Macapá-AP.

A metodologia de coleta e análise foi a seguinte. As amostras de água foram coletadas próximas à superfície do rio, em cerca de 0,50m de profundidade, e as primeiras coletas de cada amostra foram descartadas para a lavagem dos frascos de forma padronizada. Um segundo procedimento ocorreu, quando então eram lacradas as amostras definitivas, as quais eram armazenadas em cuba térmica, e posteriormente transferidas para o laboratório para análises. O método de análise utilizado seguiu o *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (Métodos de Padrões para Análises da Água e Esgoto) da *American Public Health Association* (APHA, 2005).

O Índice Estado Eutrófico (IET) foi determinado de acordo com os procedimentos citados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2014) e calculado pela Equação 1, a qual utiliza a concentração de Fósforo Total (PT) em (µg/L) (LAMPARELLI, 2004). O fósforo é utilizado para calcular o potencial de eutrofização do corpo hídrico, por ser considerado o principal agente causador deste processo, isto é, uma ameaça aos ecossistemas aquáticos(VON SPERLING,1995).

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

A escala de avaliação do IET pode ser representada por faixas de classificação, segundo a descrição da Tabela 1. Na presente investigação, valores resultantes do cálculo de concentração de fósforo total serão utilizados na Equação 1, e posteriormente comparados com os valores da Tabela 1.

Tabela 1: IET para ambientes lóticos (Lamparelli, 2004)

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Nível de concentração de nutrientes
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	Concentração insignificante de nutrientes.
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	Baixa concentração de nutrientes sem prejudicar os corpos d'água.
Mesotrófico	$52 < IET = 59$	Concentrações intermediárias, com possíveis implicações sobre a qualidade da água.
Eutrófico	$49 < IET = 63$	Altas concentrações em relação às condições naturais produzindo alterações indesejáveis na água.
Supereutrófico	$63 < IET = 67$	Alta produtividade em relação às condições naturais, baixa transparência, com a ocorrência de episódios florações de algas.
Hipereutrófico	> 67	Elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com episódios de floração de algas ou mortandades de peixes.

2.3 DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA VAZÃO SAZONAL EM J1, J3 E J8 E BATMETRIA (J2 A J3 - 10 km de Extensão)

A determinação da vazão experimental foi realizada apenas nos sítios J1, J3e J8, e nos períodos de estiagem (setembro 2013) e período chuvoso (março 2014). O método utilizado foi o acústico, com uso do equipamento denominado ADP (Acoustic Doppler Profiler) da Sontek/YSI modelo M9 (Figura 3). O sensor acústico é conectado a um sistema GPS via Bluetooth que se conecta a um Iphone contendo o *software* River Surveyor Live Mobile.

Este *software* possui a função de monitorar os dados durante a coleta e armazená-los (SANTOS, 2012). Por motivos de limitação logística e operacional, a utilização do equipamento foi realizada apenas na batimetria entre os sítios J2 e J3 (volume de controle para o cálculo das T_r). Os resultados da batimetria foram utilizados como um teste piloto para o cálculo do volume aproximado do canal (reservatório ou volume de controle) formado pela multiplicação entre a área das seções de medidas das vazões nos sítios J2-J3 e o comprimento do trecho (10 km). Esta metodologia simplificada se assemelha ao que foi empregado por Bastos (2010) no Igarapé da Fortaleza, próximo de Macapá, e no baixo Rio Araguari, por Santos (2012), sendo estes dois últimos com o intuito de estimar T_r em escoamento com refluxo de marés, utilizando-se complementarmente sistemas de modelagem e simulação numérica.

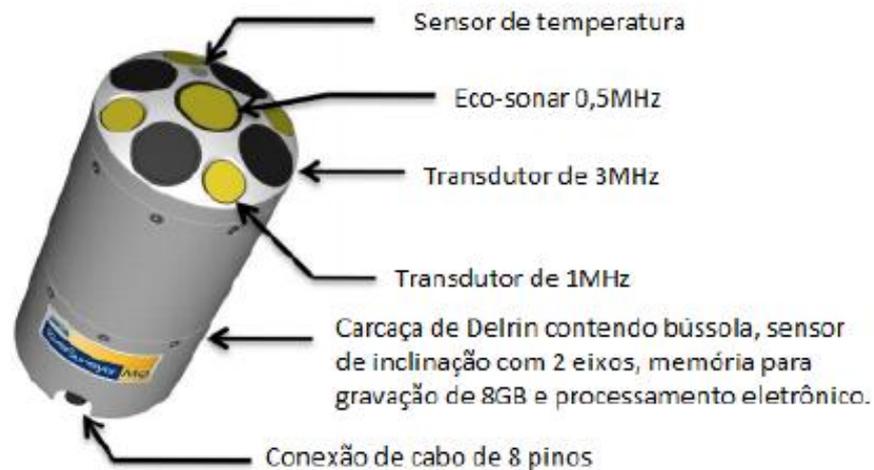


Figura 3. Equipamento utilizado para batimetria e medida de vazão ADP SonTek M9. Fonte: Adaptado de Sontek/YSI, 2011.

2.4 ESTIMATIVA DO TEMPO DE RESIDÊNCIA (T_r) NO TRECHO DE CANAL (J2 - J3)

O cálculo do tempo de residência (T_r) em reservatórios, aqui representado pelo trecho J2-J3, foi calculado pela **Equação 2**, onde Q_i é a vazão instantânea de saída do reservatório (J3) em m^3/s e V_r o volume do reservatório i no tempo determinado, em m^3 e o T_r em segundos. O cálculo do V_r para esse trecho em estudo, num dado período sazonal i , foi baseado na série histórica de vazão citados por Lucas et al. (2010) (Figura 2).

$$EQ.2 \quad T_{ri} = \frac{V_{ri}}{Q_i}$$

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA - TESTES DE CORRELAÇÃO

Para se analisar a correlação entre o IET e a vazão, elaborou-se uma matriz de correlação Spearman (não paramétrico) ao se observar, através do teste Shapiro-Wilk, que as distribuições de frequências não eram normais. No entanto, em relação à vazão, o teste Shapiro-Wilk mostrou comportamento normal, quando aplicado à série de dados de Lucas et al. (2010). Deste modo, ao se correlacionar vazão (Q_i) versus Tempo de Residência (T_r) foi aplicado o teste paramétrico de correlação Pearson. Além dos métodos estatísticos mencionados, foram utilizadas visualizações gráficas do tipo box-plot como ferramenta de análise. As respectivas análises estatísticas foram realizadas no *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014). Tais análises foram utilizadas para aceitar ou rejeitar as hipóteses levantadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VAZÃO E BATIMETRIA

Experimentalmente foram realizadas duas campanhas de medida de descarga líquida (vazão) em três trechos do baixo Rio Jari (J1, J3 e J8), mas a batimetria só em J2 e J3. Assim, foi realizada uma campanha para elaboração da batimetria de um trecho representativo com o intuito de estima o volume aproximado do canal principal para cálculo de T_r ao longo de um período hidrológico normal.

Por questões logísticas e operacionais as medidas de vazão foram realizadas no período de estiagem e chuvoso normalmente entre as 08h30min e 13h00min. Como o baixo rio Jari sofre flutuação de nível pela influência de marés do rio Amazonas (sem reversão significativa do fluxo), as medidas de vazões durante o período de estiagem mostraram que, ao iniciar as coletas no sítio J1 (Figura 4a e tabela x), o baixo rio Jari estava com o nível da cota de água descendente, acusando vazão ($525\text{m}^3/\text{s}$) e com a velocidade instantânea variando entre 0 m/s e 0,5 m/s em média. Durante o período chuvoso foi possível obter um valor de aproximadamente de $750\text{m}^3/\text{s}$ para a vazão, com velocidade instantânea observada variando entre 0,5 a 1,0 m/s em média.

Em termos de cota ou nível da lâmina d'água, é possível observar na Figura 4a que a seção do ponto J1 mostrou uma variação de profundidade entre 5 m e 15 m, mostrando que a área da seção apresenta batimetria irregular do leito no baixo rio Jari no referido trecho. Também é possível observar que a largura na seção J1 é de aproximadamente 200 m, um fator que pode influenciar na advecção e dispersão de agentes passivos do escoamento, pois este parâmetro geométrico tende a modificar o vetor de intensidade de velocidade de transporte de matéria (CUNHA et al., 2013a).

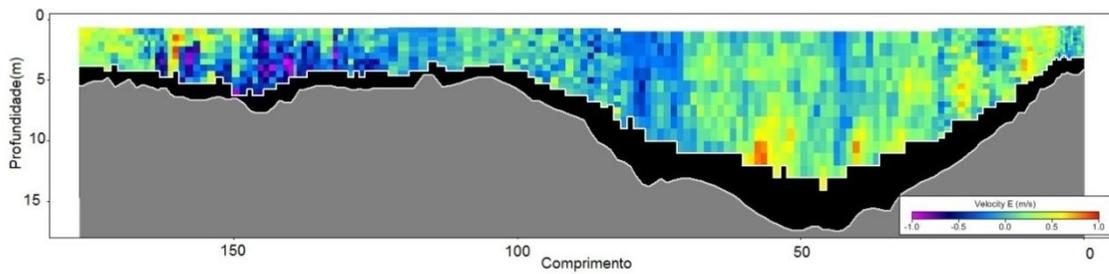


Figura 4a: Medida de descarga líquida representativa na seção J1 no período de estiagem do rio Jari-AP.

Tabela 2: Vazão durante o período chuvoso e de estiagem, com profundidade média e velocidade média no sítio J1. Qe: Vazão estiagem. Qc: Vazão chuvoso. Vm: velocidade média

Qe	Qc	Profundidade	Vm estiagem	Vm chuvoso
$525\text{m}^3/\text{s}$	$750\text{m}^3/\text{s}$	5m-15m	0-0,6 m/s	0,5-1,0 m/s

Durante as medidas de vazão no ponto J3 (Figura 4b e tabela x) no mês de Setembro (2013) foi possível identificar uma vazão próxima da nula e com uma pequena reversão de sentido ($-73\text{m}^3/\text{s}$) devido provavelmente à condição de recirculação (Foz-montante) e influência do rio Amazonas. No entanto, este fato teve uma duração mínima de aproximadamente 10 minutos. Logo após rápida transição o sentido do fluxo voltou ao seu sentido normal direcionado para a foz.

Para o período chuvoso (Março 2014), no momento da medida, a vazão estava aproximadamente com $350\text{m}^3/\text{s}$ e velocidade instantânea variando entre 0 m/s e 0,6 m/s. Este comportamento foi similar ao observado no mês de setembro. Ou seja, a vazão diminuiu ao longo dos períodos de coleta.

No sítio J3 a profundidade também variou entre 5m e 10m. Nesta seção é possível observar que a largura do rio possui aproximadamente a mesma largura da seção J1, ou seja, um pouco maior que 200 m.

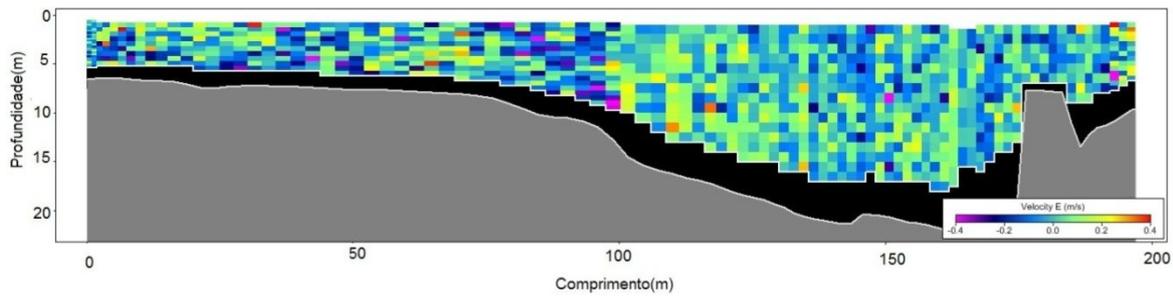


Figura 4b: Medida de descarga líquida representativa na seção J3 no período de estiagem do Rio Jari-AP.

Tabela 3: Vazão durante o período chuvoso e de estiagem, com profundidade média e velocidade média no sítio J3. Qe: Vazão estiagem. Qc: Vazão chuvoso. Vm: velocidade média

Qe	Qc	Profundidade	Vm estiagem	Vm chuvoso
-73 m ³ /s	350 m ³ /s	5m-10m	0 m/s	0,5-0,6 m/s

No sítio J8 (Figura 4c e tabela x) a medida da vazão indicava um fluxo acima de 3.000m³/s no mês de setembro e velocidade variando entre 0,6 m/s e 0,8 m/s. O mês de março apresentou aproximadamente 4.000 m³/s e velocidade entre 0,8 m/s e 1 m/s. A seção do sítio J8 possui uma variação de profundidade entre 6 m e 12 m, com geometria (batimetria) de fundo mais regular quando comparado aos sítios J1 e J3. Sua largura é três vezes maior em relação aos sítios J1 e J3. E, obviamente, pela conservação de massa, e para uma mesma vazão, este trecho tenderia a apresentar velocidade de escoamento inferior em relação aos demais sítios.

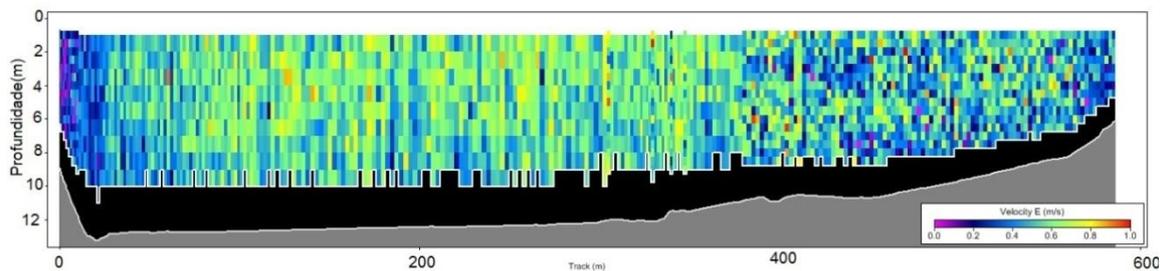


Figura 4c: Medida de descarga líquida representativa na seção J8 no período de estiagem do Rio Jari-AP.

Tabela 4: Vazão durante o período chuvoso e de estiagem, com profundidade média e velocidade média no sítio J8. Qe: Vazão estiagem. Qc: Vazão chuvoso. Vm: velocidade média

Qe	Qc	Profundidade	Vm estiagem	Vm chuvoso
3000 m ³ /s	4000 m ³ /s	6-12m	0,6-1,0 m/s	0,8-1 m/s

O resultado da batimetria realizada entre os sítios J2 e J3, durante a segunda (dezembro) e terceira (março) campanha, em um trecho de aproximadamente 10 km, é mostrado na Figura 7. Na Figura 5 é verificada uma variação média de profundidade entre 3,75 m e 4,8 m de. A largura média do canal no trecho variou entre 300 e 500 metros e a vazão, durante a execução batimétrica, foi de aproximadamente 1009 m³/s. Também foi observado que a velocidade média superficial do trecho durante o procedimento variou entre 0,4 m/s e 0,6 m/s.

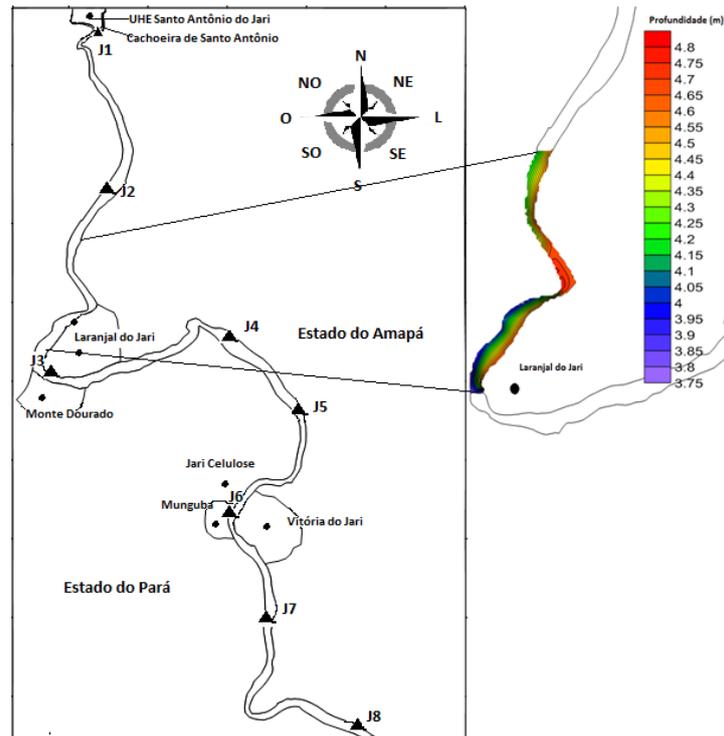


Figura 5: Batimetria entre os sítios J2 e J3 (trecho experimental) do Rio Jari-Ap.

Considerando a profundidade e a largura máxima e mínima do trecho, foi possível determinar o volume do trecho experimental. Em termos de variação temporal, este volume resultou em valores entre $2,4 \times 10^7 \text{ m}^3$ e $1,125 \times 10^7 \text{ m}^3$. Com este resultado e com base na série histórica de vazão citados por Lucas et al. (2010) foi possível utilizar a equação 2 elaborando uma cálculo aproximado do T_r mensal entre os sítios J2 e J3 utilizados neste estudo.

Este trecho com baixa profundidade pode ser um dos motivos pelos quais o trecho de navegação do baixo rio Jari está atualmente limitado a somente 110 km a partir da foz, onde está localizado o porto de Munguba (HYDROS ENGENHARIA, 2010), que possui aproximadamente 12 m de profundidade no período chuvoso e 9 m no período de estiagem (MARINHA DO BRASIL, 2014).

3.2 ESTIMATIVA DO TEMPO DE RESIDÊNCIA (T_r)

A Figura 6 mostra a variação do T_r (h) em relação ao período chuvoso e de seca. É possível observar que no período chuvoso o T_r tem mediana de aproximadamente 4 horas e no período de seca 10 horas uma diferença de aproximadamente 60%. Além disso, o limite superior do T_r no período de seca chega a 33 horas, enquanto no chuvoso, 11 horas.

Ainda analisando os resultados demonstrados na Figura 6 e com base na série histórica de Lucas et al. (2010), no período de estiagem, o mês de novembro apresentou o maior T_r com aproximadamente 33 horas para o volume máximo ($2,4 \times 10^7 \text{ m}^3$) e até 15 h para o volume mínimo ($1,125 \times 10^7 \text{ m}^3$). Enquanto que, para o período chuvoso, o mês de maio (muito chuvoso) apresentou $T_r = 3 \text{ h}$ para o volume máximo ($2,4 \times 10^7 \text{ m}^3$) e 1,4 h para o volume mínimo ($1,125 \times 10^7 \text{ m}^3$). Assim, em períodos com maior T_r o rio Jari apresentaria um provável decrescimento do estado trófico (IET), pois o tempo de permanência dos nutrientes (fósforo e amônia) naquele volume de controle seria maior.

Os resultados mostram que em períodos chuvosos (maior vazão) o T_r tende a diminuir e em períodos de estiagem (menor vazão) tende a aumentar. Estes resultados, obviamente,

apresentam o mesmo comportamento esperado comparado aos Bastos (2010), o qual descreve que durante o período chuvoso o T_r no igarapé da Fortaleza, no estuário amazônico próximo de Macapá, foi de aproximadamente 24 horas, enquanto que no período de estiagem foi de 82 horas. Em ambos os casos, há explícitas demonstrações de que o T_r depende diretamente da variabilidade climática e, no caso do igarapé da Fortaleza, fortemente da dinâmica das marés.

Em seu estudo realizado no rio Araguari, Santos (2012) relata que o T_r em um trecho de 60 km foi de 15 dias para o período de estiagem. Esta diferença expressiva de T_r entre o estudo de Santos (2012) e o observado neste estudo, pode estar associada a vários aspectos hidrodinâmicos e geográficos. Bons exemplos são a velocidade de escoamento, distribuição da vazão na seção e principalmente diferenças entre os respectivos volumes de controle. De acordo com Santos (2012), no trecho em que foi realizado o seu estudo, foi possível observar profundidades de até 9 m em um trecho de 60 km.

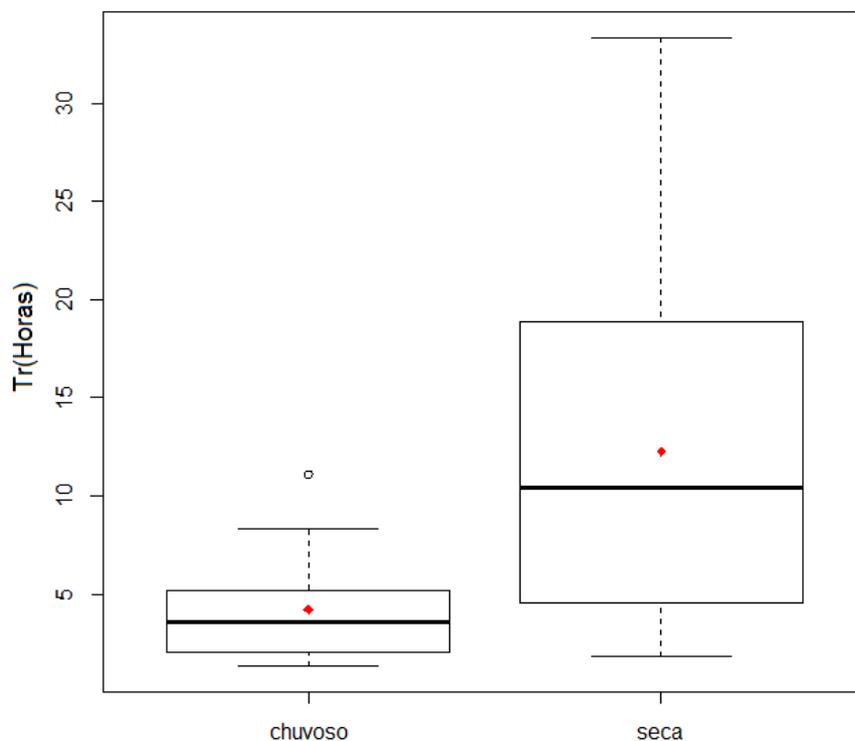


Figura 6: Tempo de residência (T_r) com variação temporal significativa ($p < 0,05$).

A Tabela 5 mostra os resultados da variação de T_r (máximos, mínimos e médios) para cada mês do ano e com base na série histórica de vazão obtida de Lucas et al., (2010) e a partir de dados experimentais utilizados na bacia do rio Jari.

Tabela 5: Tempo de residência (T_r) sazonal.

Mês	T_{max}	T_{min}	Média	Desvio Padrão
Janeiro	11,11111	5,208333	8,159722	4,17389419
Fevereiro	8,333333	3,90625	6,119792	3,13042065
Março	5,128205	2,403846	3,766026	1,92641271
Abril	3,703704	1,736111	2,719907	1,39129806
Mai	2,898551	1,358696	2,128623	1,08884196
Junho	3,508772	1,644737	2,576754	1,31807185
Julho	3,921569	1,838235	2,879902	1,47313913
Agosto	7,407407	3,472222	5,439815	2,78259613
Setembro	11,11111	5,208333	8,159722	4,17389419
Outubro	22,22222	10,41667	16,31944	8,34778839
Novembro	33,33333	15,625	24,47917	12,5216826
Dezembro	22,22222	10,41667	16,31944	8,34778839

3.3 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)

De acordo com a classificação utilizada pela ANA (2014) o IET indica que o potencial de eutrofização do rio Jari tende a variar entre o índice oligotrófico, mesotrófico e ultraoligotrófico (Tabela 6) ao longo dos períodos sazonais de coleta e também espacialmente. Em relação às médias dos sítios e dos períodos de coleta o rio Jari pode ser considerado basicamente oligotrófico.

O corpo hídrico no trecho pode apresentar características de baixas concentrações de nutrientes, baixa produtividade primária e produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis. Em relação às médias o trecho em estudo pode ser considerado basicamente como ecossistemas oligotróficos (CHAPRA, 1997; LAMPARELLI, 2004).

A figura 7 e a tabela 6 demonstram que os sítios J1, J2, J5 apresentam um potencial de eutrofização com menor desvio padrão (oligotrófico e mesotrófico). No entanto, o mesmo não ocorre em relação aos sítios J4, J6 e J7 que possuem variação entre oligotrófico, mesotrófico e ultraoligotrófico.

Ainda em relação à figura 7, é possível observar que o maior valor para o IET foi obtido no sítio J5, mesmo que este apresente o menor desvio padrão. E o menor valor foi encontrado no J3, mas foi onde ocorreu o maior desvio padrão. Esses resultados podem indicar que para cada sítio o processo hidrodinâmico em conjunto com a diluição do fósforo no corpo hídrico influencia IET (ALMEIDA et al., 2012) e, portanto, pode estar influenciando o cálculo do IET, principalmente em relação ao sítio J3 onde foi possível observar o maior

desvio padrão. Contudo, não foi possível identificar uma variação estatisticamente significativa ($p>0,05$) entre todos os sítios em relação ao IET observado na Figura 7.

A tabela 6 sugere que o potencial de eutrofização do rio Jari teve seus extremos durante o período de estiagem com as médias variando entre 48,5 (dezembro) e 53,7 (setembro). O teste de correlação entre a vazão coletada nos sítios J1, J3 e J8 e o IET não apresentaram resultados significativos e nem foi possível identificar variação significativa ($p>0,05$) deste parâmetro em relação aos períodos de análise mesmo que seja visível na figura 8 a variação deste parâmetro em relação aos períodos de análise.

Tabela 6 - IET calculado em função do fósforo (Equação 1) com médias e desvio padrão.
Ultraoligotrófico●, oligotrófico▲, mesotrófico■.

Período/Pontos	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	Média
Setembro (2013)	54 [■]	53 [■]	54 [■]	54 [■]	54 [■]	52 [▲]	53 [■]	46 [▲]	53,5 [■] +/-2,7
Dezembro (2013)	49 [▲]	48 [▲]	39 [●]	42 [●]	50 [▲]	51 [▲]	45 [●]	50 [▲]	48,5 [▲] +/-4,33
Março (2014)	52 [▲]	49 [▲]	51 [▲]	52 [▲]	53 [■]	55 [■]	42 [●]	41 [●]	51,5 [▲] +/-5,15
Junho (2014)	49 [▲]	50 [▲]	51 [▲]	53 [■]	52 [▲]	44 [●]	50 [▲]	39 [●]	50 [▲] +/-4,7
Média	50,5 [▲] +/-2,45	49,5 [▲] +/-2,17	51 [▲] +/-6,65	52,5 [▲] +/-5,56	52,5 [▲] +/-1,70	51,5 [▲] +/-4,65	47,5 [●] +/-4,93	43,5 [●] +/-4,96	

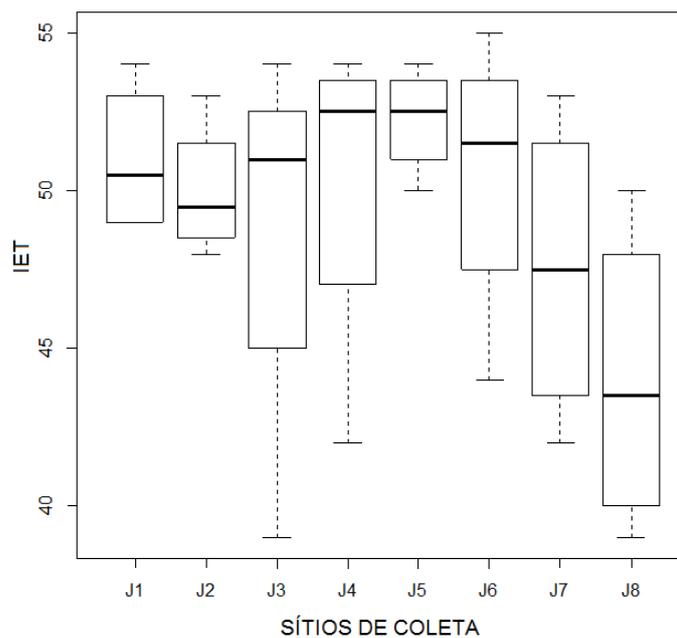


Figura 7: Variação espacial do IET não significativa ($p>0,05$) do rio Jari.

A maior mediana de IET foi observada no mês de setembro (menor vazão), e a menor no mês de dezembro (maior vazão). O mês de março apresentou o maior desvio padrão e este resultado pode estar associado às características climáticas do período, onde ocorre além de um aumento de precipitação, também o aumento da descarga de nutrientes para o corpo hídrico, compensado pelo menor tempo de permanência (GANDINI et al., 2012).

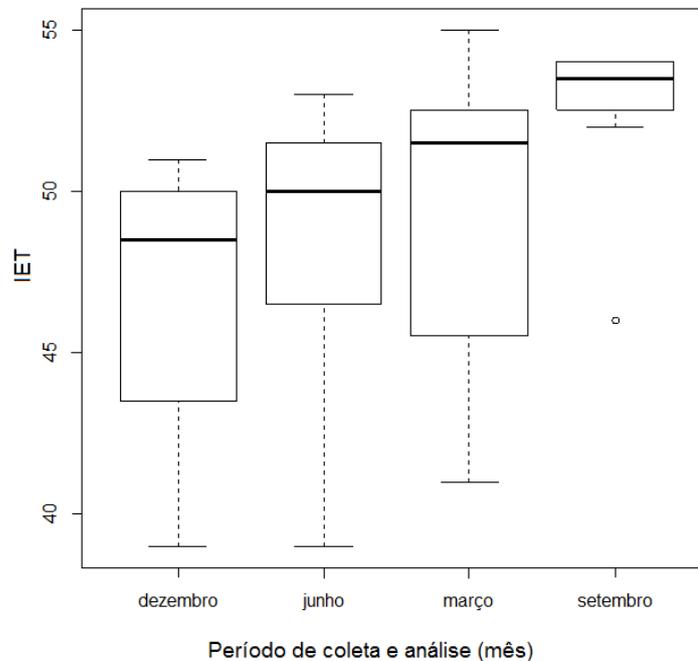


Figura 8: Variação sazonal do IET. Rio Jari

3 CONCLUSÃO

Neste estudo foi possível estimar o T_r aproximado no trecho J2-J3 considerando a série histórica de vazão utilizada por Lucas et al. (2010) e a experimentação de medida hidrodinâmica e descarga líquida.

- 1) Mesmo sendo uma aproximação é possível afirmar que o T_r é um fator determinante para o balanço hídrico e de massa concernentes a dinâmica de dispersão nutrientes no ambiente aquático. Mas, além disso, é útil para interpretá-la à luz das suas variações dentro do ciclo hidrológico.
- 2) Neste estudo, os valores de T_r tiveram os valores mais altos para o período de estiagem (33 horas) e os menores para o período chuvoso (3 horas), indicando a relação deste com a sazonalidade.
- 3) Foi possível observar resultados com significância estatística ($p < 0,05$) para a variação do T_r em relação ao período de estiagem e chuvoso. O resultado também é confirmado visualmente na figura 6.
- 4) Os valores do IET ao longo dos sítios de coleta demonstraram que o trecho em estudo varia entre oligotrófico, mesotrófico e ultraoligotrófico. Sítios próximos a cachoeira de Santo Antônio do Jari possuem menos variação em relação ao IET. Podendo este fator estar associado a um constante fornecimento de fósforo para aqueles sítios.

- 5) Os resultados sem significância estatística para correlação e variação espaço-sazonal do IET em relação a vazão e aos sítios de coleta podem ser atribuídos ao número reduzido de vazões aferidas (apenas 3). Além disso, a robustez do teste Kruskal-Wallis pode não ter identificado as variações espaço-sazonal em relação aos valores de IET. Em estudos posteriores é preciso que exista maior aferição de vazão em todos os sítios associados aos valores de IET. Talvez deste modo seja possível obter resultados estatísticos significativos para testar a hipótese de existência de relação entre IET e o T_r . Ainda assim, é preciso verificar se a equação utilizada neste trabalho para o cálculo de IET é satisfatória para este tipo de ambiente amazônico com características climatológicas e biológicas específicas.

Neste aspecto, a **hipótese de variação significativa do IET não se confirma**. Por outro lado, a variação não significativa ($p < 0,05$) não quer dizer que esta não possa assumir valores diferentes dos atuais quando os impactos ambientais aumentarem com o tempo.

4 AGRADECIMENTOS

Ao **CNPq** (Processo 475614/2012-7) pelo suporte financeiro aos projetos: "Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água no Estuário do Baixo Rio Araguari - AP; **CENBAM/CNPq** (Convênio nº 722069/2009) INCT da Biodiversidade da Amazônia; Trocas - "Net Ecosystem exchange of the Lower Amazon: from land to the Ocean and atmosphere", Processo **FAPESP** n 12/51187-0 e "Rede de Gestão Integrada de Monitoramento da Dinâmica Hidroclimática e Ambiental do Estado do Amapá". Convênio: 702813 – **SUDAM**. Agradecimentos ao Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis (NHMET/IEPA) pelas informações hidrometeorológicas e ao Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais (**LQSAMSA/UNIFAP**) pelo apoio logístico e laboratorial.

REFERÊNCIAS

AMBROSETTI, W.; BARBANTI, L.; SALA, N. Residence time and physical processes in lakes. **Journal of Limnology**. v.67, p. 1-15, 2003.

ANA. Indicadores de qualidade - Índice do Estado Trófico (IET). Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>>. Acesso em 30 de dezembro 2014.

BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; RODRIGUES, A. S. L.; SIQUEIRA, E.Q. **Monitoramento sazonal da qualidade da água do Rio Araguari/AP. REVISTA BIOCÊNCIAS, UNITAU. Volume 16, número 1, 2010.**

BASTOS, A. M., 2010. Modelagem de Escoamento Ambiental como Subsídio à Gestão de Ecossistemas Aquáticos no Baixo Igarapé da Fortaleza - AP.

BLANCO, C. C; SECRETAN E FAVRE, A-C. Análise, Aplicação e Transposição de um Modelo Chuva-Vazão para Simulação de Curvas de Permanência de Pequenas Bacias da Amazônia. Revista **Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, Volume 12 n.1 205-216. Jan/Mar 2007.

BRITO, D. C. Aplicação do Sistema de Modelagem da Qualidade da Água QUAL2KW em Grandes Rios: O Caso do Alto e Médio Rio Araguari – AP. 2008.144p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical), Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2008.

BRAUNSCHWEIG. F.; MARTINS. F.; NEVES. R.; MARTINS.; PINA. P.; SANTOS. M.; SARAIVA. S. A importância dos processos físicos no controle da eutrofização em estuários. INAG –Instituto da Água, 2003.

CHAPRA, S. C. Surface Water-Quality Modelling. McGraw-Hill, 843 p.1997.

COSTA, A. S.; CARIELLO, B. L.; BLANCO, CLAUDIO, J. C., PESSOA, FRANCISCO, C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas do estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, 413 - 422, 2012.

CUNHA, A. C. Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água. **Biota Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 124-143, 2013.

CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; CUNHA, H. F. A; SCHULZ, H. E. 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**. Fundação Universidade Federal do Pampa, Jaguarão/RS, p. 697. 2011.

CUNHA, A. C; CUNHA, H. F. A.; PINHEIRO, L. A. R. 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. 67-85, 2013a.

CUNHA, A. C.; VILHENA, J. E. S.; SANTOS, E.; SARAIVA J. B.; KUHN, P. A. F.; BRITO, D. C.; SOUZA, E. B.; ROCHA, E. P.; CUNHA, H. F. A.; BRITO, A. U.; BRASIL Jr, A. C. P.; PACA, V. H. Evento extremo de chuva-vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari/Amapá. **Revista Brasileira de Meteorologia** (Impresso), Volume Especial. Jan/Mar. 2015 (*in press*).

FIGUEIRÊDO, M. C. B. et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.12, n.4, p. 399-409. ISSN 1413-4152, 2012.

GANDINI, C. V.; BORATTO, I. A.; FAGUNDES, D. C.; POMPEU, P. S. Estudo da alimentação dos peixes no rio Grande à jusante da usina hidrelétrica de Itutinga, Minas Gerais, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 102, n. 1, p. 56-61, 2012.

HYDROS ENGENHARIA. Inventário hidroenergético da bacia hidrográfica do Rio Jari / PA-AP. Empresa de Pesquisa Energética. [S.l.], junho de 2010.

Jl, Z. G. Hydrodynamics and water quality : modeling rives, lakes, and stuaris. Wiley Interscience, John Wiley & Sons, Inc. 2008 676 p.

LAMPARELLI , M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo : USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

LUCAS, E. W. N.; BARRETO, N. J. C.; CUNHA, A. C. Variabilidade hidrológica da Bacia do Rio Jari (AP): estudo de caso do ano 2000. In: **Tempo, Clima e Recursos Hídricos: resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. Macapá: IEPA, 2010. p. 119-134.

MARINHA DO BRASIL. RIO JARI, DA FOZ AO PORTO DE MUNGUBA . Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-publicacoes/publicacoes/rotcn/125-130-Rio-Jari-Da-Foz-ao-Porto-de-Munguba.pdf>. Acessado em 12/2014.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. <http://www.transportes.gov.br/>. 2014.

OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. 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, 2014.

R CORE TEAM (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>

RUEDA, F.; MORENO-OSTOS, E.; ARMENGOL, J. The residence time of river water in reservoirs. **Ecological Modelling**, 2005.

SANTOS, E. S. **Modelagem Hidrodinâmica e Qualidade da Água em na Foz do Rio Araguari-AP**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Amapá/UNIFAP, 2012.

SANTOS, E.; CUNHA, E. D. S. e CUNHA, A. C. Análise espaço-sazonal da qualidade da água na zona flúvio-marinha do Rio Araguari-Amazônia Oriental-Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Volume 18 n.3 –Jul/Set, 81-95. 2014.

SIDAGIS GALLI, C.; ABE, D. S.. Disponibilidade, poluição e eutrofização das águas.. In: C. E. de M. Bicudo; J.G. Tundisi; M.C.B. Scheuenstuhl. (org.). *Águas do Brasil: Análises Estratégicas*. 1^{ed}. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010, V. , P. 165-174.

SILVEIRA, J. S. Aspectos Hidrometeorológicos da bacia do rio Jari no período de 1968 a 2012. 2014. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais) Universidade Federal do Amapá/UNIFAP, Macapá, 2014.

SOBRINHO, T. R. G. et al. Classificação climática conforme a metodologia Köppen do município de Laranjal do Jari/Amapá/Brasil (2012).

SOITO JUNIOR, M.; FREITAS, A. Hydroenergy Expansion in the Brazil: vulnerability, impacts e potential adaptations to climatic changes. **Renewable Energy Reviews**, n. 15, p. 3165–3177, 2011.

TUCCI, C. E.; MENDES C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. / **Ministério Do Meio Ambiente / sqa. – Brasília: MMA**, 2006.

UNLAND, N. P.; CARTWRIGHT, I.; CENDÓN, D. I.; AND R. CHISARI. Residence times and mixing of water in river banks: implications for recharge and groundwater–surface water exchange, **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 18, p. 5109–5124, 2014.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1995. 240 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

WORRALL, F.; HOWDEN, N. J. K.; BURT, T. P. A method of estimating in-stream residence time of water in rivers. **Journal of Hydrology** , v. 512, p. 274–284, 2014.

APÊNDICE A
VALORES DOS PARÂMETROS DAS ANÁLISES

Tabela 1. Valores dos parâmetros da 1° (Setembro-2013) análise com média, desvio padrão e mediana.

Parâmetros	Parâmetros	Sítios de coleta – 1° Coleta								CONAMA(357/2005)	Média	Desvio Padrão	Mediana	
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8					
Parâmetros Físicos	Condutividade Elétrica	29	29	29	29	29	30	30	29	-	29,25	0,45	29	
	Sólidos Suspensos Totais mg/l	4	5	4	9	7	5	7	3		5,5	2	5	
	Sólidos Totais Dissolvidos mg/L	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	500 mg/L	0,017	0	0,017
	Temperatura°C	30,6	30	30	30	31	31	31	31		-	30,575	0,49	30,8
	Turbidez-NTU	7,01	6,16	6,77	6,29	6,01	5,65	6,05	6,09		100 NTU	6,25375	0,43	6,125
	Cor-mg. Pt/L	78	78	74	83	78	70	83	70		75 mg. Pt/L	76,75	5,09	78
Parâmetros Químicos	Demanda Bioquímica de Oxigênio mg/L	1,36	1,2	1,22	1,17	1,28	1,27	1,43	1,43		≤ 5mg/L	1,295	0,1	1,275
	Oxigênio Dissolvido mg/L	6,81	6,15	6,44	6,2	6,19	6,16	6,93	6,91		≥ 5 mg/L	6,47375	0,35	6,32
	Fósforo Total mg/L	0,51	0,43	0,56	0,52	0,49	0,33	0,45	0,11		0,1mg/L	0,425	0,14	0,47
	Nitrogênio Amoniacal	0,2	0,3	0,2	0,19	0,35	0,2	0,31	0,21		3,7 mg/L	0,245	0,06	0,205

	Nitrato mg/L	0,5	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,4	0,5	10,0 mg/L	0,3125	0,16	0,35
	pH	6,7	6,9	6,9	6,8	6,8	6,7	6,6	6,5	6-9	6,7375	0,14	6,75
	Magnésio mg/L	2,82	2,87	3,01	2,68	2,69	2,75	2,70	2,55	-	2,758	0,14	2,725
	Cálcio mg/L	1,13	0,78	1,17	0,45	1,08	0,9	0,93	1,51	-	0,99	0,31	1,005
	Sulfato mg/L	0	0	0	0	0	0	0	1	≤ 250mg/L	0,125	0,35	0
	Cloreto mg/L	1,5	1,4	2,0	2,5	2,3	2,2	1,2	0,8	≤ 250mg/L	1,73	0,59	1,75
Parâmetros biológicos	Clorofila-a	1,636	1,477	1,730	1,655	1,597	1,260	1,517	0,651	30ug/L	1,440	0,326	1,557
	Coliformes Totais 100 ml	>2419,6	>2419,6	1732,9	2419,6	866,4	1986	1203,3	1413,6	1000 por 100ml	1807,625	605,60	1859,45
	<i>E. Coli</i> 100ml	9,6	14,6	14,6	46,4	13,4	29,2	22,3	22,8	Ausência para consumo humano	21,612	11,85	18,45

Tabela 2. Valores dos parâmetros de análise 2º (Dezembro-2013) coleta com média, desvio padrão e mediana

Parâmetro	Sítios de coleta – 2º Coleta								CONAMA(357/2005)	Média	Desvio Padrão	Mediana
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8				
Parâmetros Condutividade Elétrica	31	31	32	32	31	32	31	30	-	31,25	0,70	31

Físicos	Sólidos Suspensos Totais mg/L (SST)	3	5	5	7	21	13	12	5		8,875	6,05	6
	Sólidos Totais Dissolvidos mg/L (STD)	0,018	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,018	0,017	500 mg/L	0,0185	0,001	0,019
	Temperatura °C	29,92	29,95	29	30	30	30,56	31	30	-	30,05	0,57	30
	Turbidez-NTU	3,63	3,65	4,53	6,2	11,3	7,46	6,24	5,75	100 NTU	6,095	2,49	5,975
	Cor mg. Pt/L	46	57	55	63	95	70	53	35	75 mg. Pt/L	59,25	17,86	56
Parâmetros Químicos	Demanda Bioquímica de Oxigênio	1,05	0,92	0,94	0,79	1,01	1,13	0,63	0,74	≤ 5mg/L	0,9	0,16	0,93
	Oxigênio Dissolvido (OD)mg/L	6,63	6,45	6,65	6,46	6	5,95	6,23	6,95	≥ 5mg/L	6,415	0,34	6,455
	Fósforo Total (P)- mg/L	0,19	0,17	0,3	0,5	0,26	0,31	0,090	0,24	-	0,251	0,13	0,25
	Nitrogênio Amoniacal (NH ₃ -N)	1,42	1,31	1,1	0,46	0,31	0,31	0,16	2,13	3,7 mg/L	0,871	0,75	0,78
	Nitrato (NO ₃ -N)-mg/L	0,7	0,1	0,4	0,6	1	1,3	0,3	0,9	10,0 mg/L	0,7	0,58	0,65
	pH	6,7	6,9	6,9	6,8	6,8	6,7	6,6	6,5	6-9	6,735	0,14	6,75
	Magnésio mg/L	2,82	2,87	3,01	2,68	2,69	2,75	2,70	2,55	-	2,758	0,14	2,725
	Cálcio mg/L	1,13	0,78	1,17	0,45	1,08	0,9	0,93	1,51	-	0,99	0,31	1,005
	Sulfato mg/L	1	1	1	1	0	0	22	34	≤ 250 mg/L	7,5	13,06	1
	Cloreto mg/L	1,7	1,9	2,4	2,0	2,1	2,0	0,6	1,1	≤ 250 mg/L	1,725	0,849	1,95
Parâmetros biológicos	Clorofila-a	0,904	0,846	0,298	0,406	1,092	1,213	0,577	1,040	30ug/L	0,797	0,312	0,8756

Coliformes Totais 100 ml	>2419,6	1732,9	866,4	1413,6	866,4	1204,3	344,8	648,8	1000 por 100ml	1459,78	652,33	1413,6
<i>E. Coli</i> 100ml	10,9	30,9	30,9	56,5	14,4	50,4	34,1	10,9	Ausência para consumo humano	29,875	17,36	31

Tabela 3. Valores dos parâmetros da 3° (Março-2014) análise com média, desvio padrão e mediana.

Parâmetros	Sítios de coleta – 3° Coleta								CONAMA(357/2005)	Média	Desvio Padrão	Mediana
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8				
Parâmetros Físicos												
Conductividade Elétrica	24	25	22	24	25	24	24	25	-	24	0,925	24
Sólidos Suspensos Totais mg/l (SST)	6	2	8	4	2	9	4	5		5	2,563	4
Sólidos Totais Dissolvidos mg/L (STD)	0,02	0,08	0,03	0,03	0,02	0,08	0,01	0,01	500 mg/L	0,038	0,026	0,03
Temperatura°C	26	26,8	27	27	27	28	28	28	-	27,114	0,649	27
Turbidez-NTU	8,5	8	7,5	7	8,2	7,45	6,8	6	100 NTU	7,635	0,579	7,5
Cor-mg. Pt/L	89	117	76	93	105	75	97	90	75 mg. Pt/L	93,142	13,96	93
Parâmetros Químicos												
Demanda Bioquímica de Oxigênio mg/L	1,34	1,4	1,23	1,94	2,01	2,5	1,19	1,82	≤ 5mg/L	1,658	0,460	1,4
Oxigênio Dissolvido mg/L	7,28	7,02	7,23	6,96	6,57	6,57	6,81	7,28	≥ 5 mg/L	6,92	0,265	6,96
Fósforo Total mg/L	0,036	0,022	0,031	0,033	0,045	0,066	0,05	0,036	-	0,040	0,013	0,036
Nitrogênio Amoniacal	0,38	0,37	0,39	0,37	0,4	0,36	0,39	0,38	3, 7 mg/L	0,38	0,013	0,38

	Nitrato mg/L	0,8	1,9	1,6	1,4	1,3	1,8	1,5	0,8	10,0 mg/L	1,471	0,336	1,5
	pH	5,52	6,63	6,17	6,25	6,28	6,15	6,14	5,52	6-9	6,162	0,305	6,17
	Magnésio mg/L	2,5	2,64	2,58	2,56	2,69	2,8	2,57	2,5	-	2,62	0,092	2,58
	Cálcio mg/L	0,95	1,05	0,97	0,92	1,01	1,16	1,3	0,95	-	1,051	0,125	1,01
	Sulfato mg/L	0	0	0	0	0	0	1	0	≤ 250mg/L	0,142	0,349	0
	Cloreto mg/L	3,1	2,4	2,5	2	2,4	2	2,3	3,1	≤ 250mg/L	2,385	0,344	2,4
Parâmetros biológicos	Clorofila -a	1,327	0,988	1,213	1,260	1,517	1,910	0,406	0,355	30ug/L	1,231	0,429	1,260
	Coliformes Totais 100 ml	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	1000 por 100ml	2419,6	0	2419,6
	<i>E. Coli</i> 100ml	29,5	63,8	51,2	40,8	42	47	46,7	29,5	Ausência para consumo humano	45,85	9,713	46,7

Tabela 4. Valores dos parâmetros de análise 4^o (Junho-2014) coleta com média, desvio padrão e mediana.

Parâmetro	Sítios de coleta – 4 ^o Coleta								CONAMA(357/2005)	Média	Desvio Padrão	Mediana	
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8					
Parâmetros Físicos	Condutividade Elétrica	23	22	25	25	19	28	23	23	-	23,5	2,449	23
	Sólidos Suspensos Totais mg/L	18	8	7	9	8	4	7	1		7,75	4,575	7,5
	Sólidos Totais Dissolvidos mg/L	0,01	0,08	0,03	0,04	0,03	0,04	0,01	0,01	500 mg/L	0,031	0,022	0,03

	Temperatura°C	26	26	26	27	26	27	27	27	-	26,5	0,5	26,5
	Turbidez-NTU	16	10	10	17	14	12	13	9	100 NTU	12,625	2,735	12,5
	Cor mg. Pt/L	165	131	119	133	135	106	118	109	75 mg. Pt/L	127	17,571	125
Parâmetros Químicos	Demanda Bioquímica De Oxigênio	1,61	1,81	1,85	1,85	1,89	1,94	1,89	2,84	≤ 5mg/L	1,96	0,345	1,87
	Oxigênio Dissolvido (OD)-mg/L	7,68	7,11	6,79	6,63	6,47	6,22	5,98	5,9	≥ 5mg/L	6,5975	0,558	6,55
	Fósforo Total (P)- mg/L	0,022	0,025	0,027	0,039	0,035	0,008	0,026	0,03	-	0,0265	0,01	0,026
	Nitrogênio Amoniacal (NH ₃ -N)	0,34	0,33	0,31	0,3	0,31	0,24	0,3	0,29	3, 7 mg/L	0,3025	0,028	0,305
	Nitrato (NO ₃ -N)-mg/L	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,6	0,9	0,4	10, 0 mg/L	0,662	0,140	0,65
	pH	7,12	6,62	6,59	6,63	6,93	6,79	6,7	6,5	6-9	6,735	0,190	6,665
	Magnésio mg/L	2,41	2,43	2,48	2,66	2,55	2,54	2,29	2,81	-	2,521	0,149	2,51
	Cálcio mg/L	0,45	0,75	0,67	1,04	0,82	0,92	0,38	0,98	-	0,751	0,224	0,785
	Sulfato mg/L	2	1	0	0	0	0	0	0	≤ 250 mg/L	0,375	0,695	0
	Cloreto mg/L	18	8	7	9	8	4	7	1	≤ 250 mg/L	7,75	4,575	7,5
Parâmetros biológicos	Clorofila-a	0,988	1,066	1,117	1,393	1,305	0,538	1,092	0,298	30 ug/L	0,975	0,348	1,079
	Coliformes Totais 100 ml	2419,6	2419,6	1986,3	1986,3	1986,3	1732,9	1553,1	1986,3	1000 por 100ml	2008,8	279,132	1986,3
	<i>E. Coli</i> 100ml	35,9	48,7	17,1	30,9	22,8	37,9	86,4	41	Ausência para consumo humano	40,0875	19,855	36,9