

# Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo Rio Jari-AP: Revisão descritiva

Carlos Henrique Medeiros de Abreu<sup>1</sup> e Alan Cavalcanti da Cunha<sup>2</sup>

1. Licenciado em Física, Universidade Estadual do Ceará. Mestre em Biodiversidade Tropical, PPGBio-UNIFAP. Campus Universitário Marco Zero do Equador, Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 02, Bloco T, Bairro Universidade, 68903-419 - Macapá, AP, Brasil. E-mail: Carlos\_767@ig.com.br

2. Engenheiro Químico. Professor Adjunto III do Curso de Ciências Ambientais-UNIFAP. Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical PPGBio-UNIFAP Campus Universitário Marco Zero do Equador Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 02, Bloco T, Bairro Universidade, 68903-419 - Macapá, AP, Brasil. E-mail: alancunha12@gmail.com

**RESUMO:** O objetivo da presente investigação é elaborar um "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. 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 descritiva com 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 e detectadas por monitoramento no seu baixo curso. Concluiu-se que próximo de zonas urbanas, industriais e da instalação da UHESAJ, encontra-se o trecho ambientalmente mais ameaçado, com sensível alteração da qualidade da água, destacando-se os parâmetros cor, fósforo, coliformes termotolerantes (CT) e *Escherichia coli*. Esta investigação é uma contribuição de referência para futuros estudos da qualidade da água na bacia, cuja utilidade é servir 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.

## Water quality in tropical aquatic ecosystems under environmental impacts in the lower Jari River-AP: Descriptive Review

**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 causadas por atividades humanas, especialmente associadas ao aumento da densidade populacional. Estes impactos tendem a elevar a carga de efluentes industriais e domésticos, aumento de áreas agrícolas e, principalmente, a construção de barragens, que promovem perda de habitat, perturbação e introdução de espécies (MOYA et al., 2007; BARRETO et al., 2014; BOTELHO; FROES, 2012, 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 e (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 em 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), até mesmo influenciando na dinâmica microclimática local.

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

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, mas são determinantes da qualidade da água e condiciona 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 as bacias relativamente grandes (> 30 mil km<sup>2</sup>) onde se enquadra a do rio Jari (OLIVEIRA; CUNHA, 2015; SILVEIRA, 2013; LUCAS et al., 2010).

De acordo com Soito e Freitas (2011), com relação às barragens em rios da Amazônia, juntamente com 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, da qualidade da água. Todos vinculados aos ecossistemas aquáticos e suas interações com a floresta (BRITO, 2008; BÁRBARA et al., 2010).

Estas incertezas surgem porque as análises de cenários da precipitação em nível de mesoescala ou em escala de bacia (CUNHA et al., 2015; BLANCO et al. 2012) 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. Como exemplos, no Estado do Amapá Neves et al., (2012) estudaram as interações entre precipitação e vegetação, mostrando a importância do ciclo hidrológico. Sá-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.

Com relação a variabilidade hidrológica de bacias hidrográficas do Estado do Amapá, inclusive a do rio Jari, ainda existem consideráveis lacunas de conhecimento sobre seu comportamento hidrometeorológico (LUCAS et al., 2010). Assim, a utilidade prática em favor da proteção e conservação da biodiversidade é ainda pouco conhecida.

Por exemplo, no trecho de montante da instalação da UHESAJ, onde se encontram algumas Unidades de Conservação (UCs), têm sido muito pouco estudadas, especialmente 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 tem sido crescentes, em vista do aumento dos riscos ambientais associados às mudanças do uso e ocupação do solo sobre os padrões hidrometeorológicos. Inclusive advindas de outros setores como a Defesa Civil e Saneamento Ambiental. Deste modo, uso e ocupação inadequada da terra contribuem com o aumento da frequência e conseqüências negativas causadas por eventos hidroclimáticos extremos (CUNHA et al., 2014; CUNHA et al., 2013b; SANTOS, 2012).

Como a bacia do rio Jari apresenta parâmetros climatológicos espacialmente "pouco monitorados", devido a baixa densidade da rede de observação (SILVA, 2013), no seu alto curso a distribuição das precipitações médias são também pouco conhecidas. Mas os registros históricos são da ordem de 2300 mm/ano e temperatura média próxima dos 27° C (LUCAS et al., 2010). Assim, 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 hidroclimáticas 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 dificuldade em se obter dados oficiais tratados para usos específicos, como por exemplo aqueles utilizados na prevenção de cheias ou secas pela Defesa Civil.

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 hidroclimática impacta a qualidade da água que, por seu turno, atribui diferentes aspectos ecológicos e sanitários à água, empregando-lhe características abióticas que são influenciadas pelos impactados de indústrias, agro-silvicultura, UHE, e sistemas urbanos sem planejamento, como a cidade de Laranjal do Jari (OLIVEIRA; CUNHA, 2015).

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 (Almerim, por extrapolação) concluindo que nas últimas três décadas está 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 (2012) e especificamente na bacia do rio Araguari. Mas Cunha et al. (2015) observaram uma tendência inversa da precipitação

na bacia do Rio Araguari, contígua à bacia do Rio Jari. Apesar disso, ambas as bacias acusam tendências de precipitação/vazão divergentes.

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 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 e CUNHA, 2014), provavelmente devido ao lançamento de esgotos sanitários *in natura*. Além disso, há lacunas consideráveis sobre como ocorre o processo de dispersão de poluentes influenciado pela dinâmica da variação espacial-sazonal das correntes. A importância desse conhecimento tem a ver com os fatores que influenciam os riscos sanitários da população ribeirinha de contrair doenças de veiculação hídrica (SANGEL, 2012), aumentando as incertezas de ações de gerenciamento da água e conservação da biodiversidade.

Oliveira e Cunha (2014) estudaram 16 variáveis de qualidade da água, normalmente utilizados em AIAs, correlacionando-as 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, apresentavam valores consistentes em termos de não conformidade com a legislação do CONAMA (357/2005 - classe II).

Neste contexto, a presente investigação objetiva a elaboração de um estudo de revisão descritiva 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. Assim, também objetiva avaliar a importância dos estudos ecológicos desta natureza e seus desdobramentos para a gestão e conservação da biodiversidade tropical aquática.

É importante, contudo, frisar que o presente estudo pode ser útil como uma "linha de base teórica" eventualmente adotada como ponto de partida para estudos posteriores sobre a qualidade da água na bacia. Também, pode servir como base histórica para a avaliação da variação dos parâmetros da qualidade da água e suas interações com os processos hidrológicos sazonais em ecossistemas aquáticos tropicais, especificamente. Deste modo, a literatura regional, nacional e internacional será utilizada como "pano de fundo" da presente investigação, com especial atenção aos recentes relatos de Avaliação de Impactos Ambientais de implantação da UHE de Santo Antônio do Jari (UHESAJ). Sem perder de vista a problemática da expansão urbana local e os empreendimentos econômicos presentes no baixo trecho da bacia hidrográfica.

## 2. Conceitos gerais

### 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; REIS, FILHO, 2006; 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 e 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 socioeconômica, as bacias hidrográficas sofrem constantes impactos bióticos e abióticos irreversíveis devido a 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 (OLIVEIRA et al., 2009; BARRETO et al., 2014).

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 Amônia (N-NH<sub>3</sub>), Nitrito (NO<sub>2</sub>), Nitrato (NO<sub>3</sub>) e turbidez, Sólidos Dissolvidos (SD), Suspensos (SS) e Totais (ST). Desses, um dos mais frequentes componentes 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 nomeio líquido (FRITZSONS et al., 2003; CUNHA et al., 2011; RIXEN et al., 2012; WARD et al., 2013).

### 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 (TUCCI, 1998; BRITO, 2008; CUNHA et al., 2011) e negligenciado nos ecológicos (SANTOS, 2012; CUNHA et al., 2013).

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 sequência 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 (VON SPERLING, 2007; BRITO, 2008; SANTOS, 2012).

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 (SANTOS et al., 2014), especialmente quando se avalia a influência de barragem sobre a biodiversidade aquática (CUNHA et al., 2013a).

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 (CÂMARA, 2003), 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, segundo Harris et al. (2000), 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 às 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'KEEFE, 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 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 (1976), representado por intermédio dos modelos 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 o Lucas et al. (2010) o método ARIMA representou bem a dinâmica da série temporal na simulação das vazões e cotas mensais, com 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 ameaça das mudanças climáticas pode provocar alterações significativas nas médias de precipitação (CUNHA et al. 2015).

A importância desses processos hidrológicos na bacia do rio Jari foi descrita por Oliveira e Cunha (2010; 2015), os quais realizaram um estudo voltado para análise de impacto social e econômico associados 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 ausência 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 neste trecho da bacia, são intensificados pelo mau uso e ocupação da terra, pois, como o próprio autor afirma, há uma tendência de redução das chuvas nas últimas três décadas, mas esta não é significativa. Em face a estas incertezas, as variáveis hidroambientais devem estar sempre conectadas com a hidrometeorologia.

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

#### **Variáveis limnológicas em bacias hidrográficas - vínculos com a dinâmica hidrológica**

Os conceitos de qualidade da água não são especificamente ligados à 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 decisão 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 principalmente a cinética química das reações (biogeoquímicas), mas também outros parâmetros, como cor, odor e a saturação do oxigênio (KRUPPEK 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 a mesma 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, com menos nutrientes disponíveis e normalmente mais ácidas. O rio Jari apresenta características de águas pretas à montante da futura UHESAJ e águas claras a jusante, sob influência do rio Amazonas.

Águas naturais também têm a cor resultante da suspensão de substâncias dissolvidas. 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 (MACEDO, 2003). O STD atua na modificação da salinidade e conseqüentemente na condutividade e 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 (LUIZ 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 poder 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). O OD também é 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 (SÁNCHEZ, 2007; RIXEN et al., 2012; 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).

Um 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 à 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 3mil 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 nas águas naturais e residuais. Um nível elevado de DBO em um corpo de água pode significar uma potencial diminuição da concentração de oxigênio, e pode provocar efeitos negativos sobre a biodiversidade aquática superior (peixes, principalmente) (UDEIGWE; WANG, 2010; SÁ DE OLIVEIRA, 2012).

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 representar águas mais ácidas no período chuvoso e mais alcalinas no período seco.

O nitrogênio, em suas diversas espécies ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ), 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  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ .

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 Eutrófico (IET), calculado através do fósforo, o objetivo normalmente 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 e a base da cadeia alimentar nos ecossistemas aquáticos. Por esses motivos, o mesmo tem sido estudado por pesquisadores de limnologia em rios e pequenos cursos de água (POMPEO, 1996; CUNHA, 2012; CUNHA et al., 2013).

Diversos ecossistemas limnéticos podem ser monitorados utilizando microalgas (clorofila-a) como indicadores 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 a 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 km<sup>2</sup> (Resolução CNRH n° 32, de 15 de outubro de 2003).

Inserido na Amazônia, o Estado do Amapá possui um território de aproximadamente 140.276 km<sup>2</sup> 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

A rede de bacias hidrográficas do Amapá é constituída de muitos rios (34 bacias) 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 (AMAPÁ, 2011).

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 (NEVES et al., 2012; SANTOS, 2012; BUCHMANN, 2010; LUCAS et al., 2010).

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 (SOBRINHO, 2012; SILVEIRA, 2014).

O rio Jari divide os estados do Amapá e do Pará (Figura 2) e 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) (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2002). 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, Noucoure e Iratapuru, e na margem direita pelos Rios Ipitinga e Carecuru, e igarapé Caracaru (Figura 2) (ANA, 2010; HYDROS, 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 km<sup>2</sup>, ou 5,1% da área da bacia e o trecho do montante à referida cachoeira (próxima da UHESAJ) equivale a 94,9 % (cerca de 51 mil km<sup>2</sup>). Essa região biogeográfica é bastante acentuada, permitindo a compreensão de diversos aspectos ambientais da região (RIMA, 2009).

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 km<sup>2</sup>, e Vitória do Jari, com 12,5 mil habitantes e área de 2.483 km<sup>2</sup> (AMAPÁ, 2011). Devido à 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 registrados desde Cunha e Marques (2008).

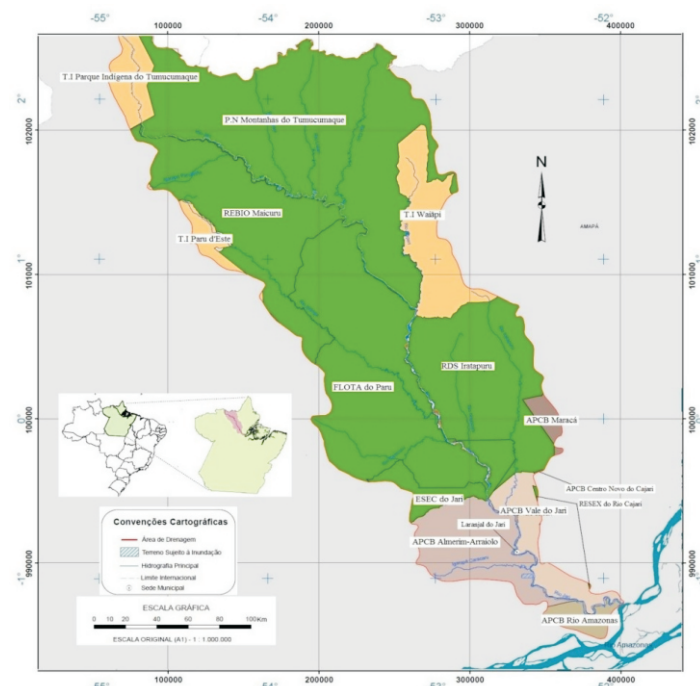
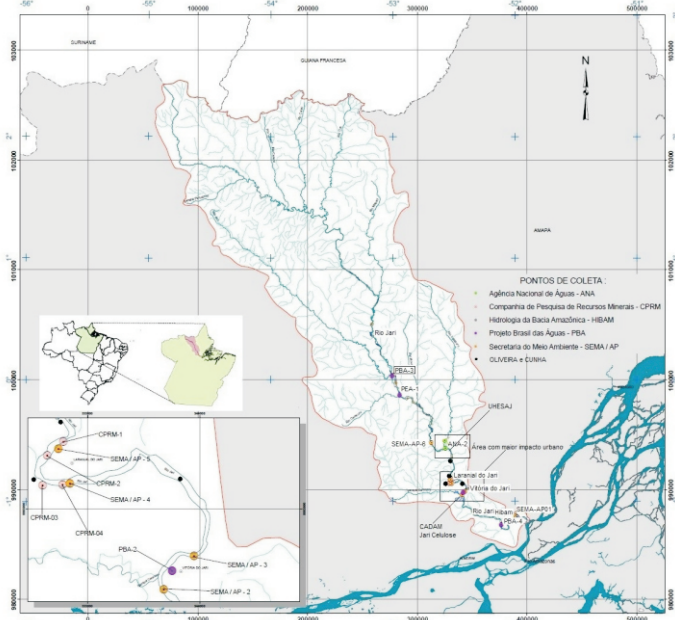


Figura 1. Áreas de conservação e terras indígenas. Fonte: Adaptado de HYDROS, 2010.

Do lado do Pará, encontra-se a cidade de Monte Dourado, município de Almerim, 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 E CUNHA, 2014).



**Figura 2.** Bacia Hidrográfica do Rio Jari, seus tributários e pontos de coleta Hydros (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. Fonte: Adaptado de HYDROS, 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.

**Estado da arte de 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 (CUNHA et al. 2004; BRITO, 2008; BÁRBARA et al. 2010; CUNHA et al. 2010; CUNHA et al. 2011; CUNHA et al., 2012; CUNHA et al., 2013a; CUNHA, 2013 e 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 da água, com o intuito de avaliar o estado atual e possíveis variações das mesmas após implantação de hidrelétricas.

No presente artigo foram destacados 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 acordãos 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 muito reduzido (sem reservação) (SANTOS e 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 encontram-se 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 2005-2014.

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 (2014)	Estudo sobre qualidade da água no Rio Jari e sua relação com a precipitação
Oliveira e Cunha (2015)	Estudo e Análise de Riscos de Enchente no rio Jari-AP

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 especificamente observadas no rio Jari são realizadas através da estação São Francisco (ANA-19150000). As coletas tiveram início em 1976 e terminaram em 2006.

A Secretaria Municipal 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 Environment do 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 socioambiental e avaliação de impactos ambientais para a instalação da UHE de Santo Antônio do Jari (HYDROS, 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) publicou um estudo voltado para o estudo hidrológico do rio Jari e sua relação com a cota e precipitação. Os autores basearam-se em um estudo de caso em 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 da mesma.

Na sequência, Silveira (2013) 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 (2014) publicaram um estudo sobre análise de risco observando os impactos socioeconômicos, como consequência das enchentes que podem ocorrer em eventos extremos com períodos de 4 a 6 anos, em cidades como Laranjal do Jari que está localizada a beira do rio Jari.

Finalmente, Oliveira e Cunha (2014) publicaram um estudo acadêmico específico sobre qualidade da água relacionando-a com a precipitação na bacia. Suas campanhas foram intensas, com frequência mensal, e realizadas entre 2009 e 2010 com foco nos parâmetros da qualidade da água do rio Jari ao longo do ciclo hidrológico completo na bacia do rio Jari. Os referidos autores utilizaram-se de séries históricas de precipitação deste mesmo período para executar suas campanhas de qualidade da água.

#### 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, onde se observa uma série de valores de referência. É possível observar as lacunas ou ausência de dados em diversos períodos de monitoramento. Estes últimos estão indicados pela sigla "ND". Em todos os casos, 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, 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)
CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	40 / 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	6,8/6,1	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
E. Coli 100ml	ND	ND	ND	100 / 300	400/400
IET	52 / 56,4	ND	48 / 52	ND	49,9/46,7

\* Resultados obtidos pelo estudo Hydros, 2010. ND: Não disponível.

As campanhas limnológicas realizadas pela Hydros, apenas a partir de dezembro de 2007 até maio, julho e novembro de 2008, foi realizado para incluir o período de seca 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 da região (HYDROS, 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 de 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 a novembro de 2010, observando a variabilidade climática da região como, por exemplo, se neste referido período o clima poderia ser considerado 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, 2014). Observaram 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  $\approx$  1.000 CT/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, como os parâmetros físico-químicos e microbiológicos variam, segundo seu padrão espacial-temporal e sob 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 (2015), 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 após o início da operação da UHESAJ.

A relevância do estudo de Oliveira e Cunha (2015) é evitar que se repitam os erros ocorridos com a construção da UHE de Coaracy Nunes (rio Araguari - 1976), em que os valores de referência básicos inexistem. 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 dispõe de informações básicas mínimas sobre a qualidade da água em relação à 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 mensalmente. Além disso, quando os parâmetros foram correlacionados com a precipitação média mensal na bacia, houve o cuidado adicional em que os autores verificar se o ano de campanha não teria sido durante qualquer evento extremo de precipitação ou seca. A ideia 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 acima 400% destes parâmetros 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 atuação da instalação da UHESAJ cujo início foi exatamente nesse período.

Curiosamente somente Oliveira e Cunha (2014) e Visão Ambiental (2011) (Tabela 2) realizaram 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 observa-se valores acima do permitido pelo CONAMA (357/2005). Por outro lado, com exceção da referência Hydros (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 (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 de magnésio, provavelmente porque estes dois íons são os mais importantes. Mas é preciso destacar que a produção de caulim está intimamente associado com a disponibilidade de cálcio na água.

Em relação aos parâmetros microbiológicos, os resultados

apresentados pelas consultorias e 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 solo. Esse tipo de variação também foi observado 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 mesmos 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 superfícies ocupadas antropicamente, 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*, onde o mesmo sempre esteve acima de 100/100 mL. 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 considera que a água para consumo humano deve estar totalmente ausente 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 o nível variando entre o oligotrófico, mesotrófico e ultraoligotrófico 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 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 a 2011, a qualidade da água no baixo trecho da bacia do rio Jari mostra sensíveis variações ou modificações na média dos seus principais parâmetros monitorados. 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 ao monitoramento para otimizar a análise sobre o papel do ciclo hidrológico na qualidade da água.

3) Ao longo dos últimos 10 anos, apesar de não se verificar alterações significativas dos parâmetros da qualidade da água, observou-se nos estudos independentes que, de fato, estas variações começaram a ser detectadas por diversas fontes de monitoramento. A mais significativa foi a do parâmetro SST (sólidos suspensos totais), cuja amplitude foi observada em 400% acima da média da série. Estas respostas podem ser indicadoras relevantes de modificações do uso e ocupação do solo (alteração da vegetação original) e das características hidrossedimentométricas da bacia (erosão), cultivo do solo (silvicultura, exploração mineral de caulim, urbanização, etc) ou pela presença de grandes modificações da paisagem, típicas das construções de barragem de usinas hidrelétricas (UHEs).

4) 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 ser considerados pontos críticos da bacia, assim como a barragem, que modificam a dinâmica da qualidade da água.

5) A literatura consultada mostrou que o aspecto mais relevante dos estudos anteriores e atuais, mostra a existência de correlação entre a variação sazonal da precipitação média mensal com parâmetros de qualidade da água. Isto é, de fato, parece haver uma correlação entre a variação da qualidade da água e o 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.

6) 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 no corpo d'água não foram mapeadas com a precisão necessária (escalas físicas) de acordo com o objetivo do monitoramento empreendido na bacia.

7) 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 se avaliar como variam os parâmetros da qualidade da água com vistas aos seus múltiplos usos e aplicações, tais como: 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 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** n12/51187-0 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.

## 6. 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,
- 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, P.; 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 / Daimio Chaves Brito -- Macapá, 2013. 127 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá. 2013.
- 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.; CUNHA, H. F. A.; BRASIL JR, A. C. P.; DANIEL, L. A.; SCHULZ, H. E. Qualidade microbiológica da água em rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 322-328, 2004.
- 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, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 95-110, 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.
- 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.; SCHULZ, H. E.; BRASIL JR. A.; SOUZA, E. B. Simulação da hidrodinâmica, dispersão de poluentes e análise de respostas de estações virtuais de monitoramento no rio Matapi-AP. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 13, p. 18-32, 2011.
- CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; PINHEIRO, L. A. R. Análise de cenário da qualidade da água no Rio Araguari (AP) com o uso do sistema de modelagem Qual2kw: Impactos de Hidrelétricas e Urbanização. In: **Tempo, Clima e Recursos Hídricos: resultados do Projeto Remetap no Estado do Amapá**. Ed. Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – NHMET/IEPA. Macapá, AP. Capítulo 8, p. 135-154. 2010.
- 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.
- 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.
- 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/UFGPA, 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.
- OLIVEIRA, A. M. ; CUNHA, A. C. Análise de risco como medida preventiva de inundações na Amazônia: estudo de caso de enchente de 2000 em Laranjal do Jari-AP, Brasil. *Ciência e Natura*, v. 37, p. 110-118, 2015.
- 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.; TRAVIESO, 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)**, v. 19 n. 3, p. 215-226, 2013.
- 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*, v. 18, n. 3, p.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.
- 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.
- SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S.; SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; MOTA, M. A.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G. V.; KUHN, P. A. F.; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: Observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.
- 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.
- 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 Modeling**, v. 221, p. 610-620, 2010.