

Potencial de vazão ambiental: método participativo para estimar vazão ambiental em rios na Amazônia

Potential of environmental flow: participatory method for determining environmental flow in hydropower's reservoirs in Amazon rivers

Paula Veronica Campos Jorge Santos¹, Alan Cavalcanti Cunha²

RESUMO

O potencial de vazão ambiental (PVA) é um método alternativo de estimativa de vazão por considerar principalmente as características ecológicas, econômicas e culturais das bacias hidrográficas, reduzindo erros de estimativa na avaliação de impactos ambientais para implantação ou operação de usinas hidrelétricas (UHEs). O objetivo desta pesquisa foi adaptar a metodologia do PVA para grandes bacias da Amazônia usando abordagem holística. A metodologia de estimativa do PVA foi adaptada às bacias hidrográficas dos rios Tocantins, no Pará, Jari, no Amapá e Pará, e Araguari, no Amapá, em fase de operação e/ou instalação de UHEs. Os resultados sugerem que, nos rios Tocantins e Araguari, ambos sob influência de barramentos em operação, o parâmetro mais relevante do PVA foi o estresse hídrico. Diante dos impactos diretos dessas UHEs, a vazão é elevada e suficiente para manter o ecossistema ou a diversidade aquática durante o ano. Contudo, a resposta do método na bacia hidrográfica do rio Jari indicou o parâmetro dependência econômica como o mais crítico, já que o rio é intensamente utilizado para a locomoção pelos moradores do Pará e Amapá e, dessa forma, o cálculo da vazão por método não adequado comprometeria essa tão importante função do rio. Concluiu-se que o método PVA é uma ferramenta alternativa interessante à gestão de grandes bacias por ser flexível, adaptável e principalmente por permitir a participação dos agentes envolvidos nos processos decisórios.

Palavras-chave: processo de tomada de decisão; métodos holísticos; gerenciamento participativo; Amazônia Oriental.

ABSTRACT

The potential of environmental flow (PVA) is an alternative method to estimate the flow as it mainly considers the ecological, economic and cultural characteristics of the basins, reducing estimation errors in the assessment of environmental impacts for deployment or operation of hydroelectric power plants (HPPs). The aim of this research was to adapt the PVA methodology for Amazon's large basins using holistic approach. The methodology for estimating the PVA was adapted to the watersheds of the rivers Tocantins, in Pará, Jari, in Amapá and Pará, and Araguari, in Amapá, under operation and/or final installation of HPPs. The results suggest that, in the Tocantins and Araguari rivers, both under the influence of dams in operation, the most relevant parameter of PVA was water stress. Taking into account the direct impact of these HPPs, the flow rate is high enough to keep the ecosystem or aquatic diversity during the whole year. However, the response of the PVA in the Jari river basin, in the ultimate construction phase, the most relevant parameter was the economic dependence, because the priority is the fluvial transport, and, in this way, estimating the flow by a non-adequate method would jeopardize this very important function. We concluded that the PVA method is an interesting tool for managing large basins, because it is flexible, adaptable and especially allowing the participation of the agents involved in the decision making processes.

Keywords: decision making process; holistic methods; participatory manage; Oriental Amazonia.

INTRODUÇÃO

Até 2035 a demanda energética global dobrará, acarretando uma pressão cada vez maior sobre os atuais recursos energéticos e hídricos em todo o globo (BLACKSHEAR *et al.*, 2011).

Os referidos autores chamam também atenção para os efeitos das mudanças climáticas que poderão impactar as operações hidráulicas das usinas hidrelétricas (UHEs), bem como alterar as tendências da variabilidade hidrológica, consequentemente alterando o padrão e os

¹Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - São Luís (MA), Brasil.

²Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP), Professor Adjunto IV da Universidade Federal do Amapá - Macapá (AP), Brasil.

Endereço para correspondência: Paula Veronica Campos Jorge Santos - Avenida dos Portugueses, 1966 - Bacanga - 65080-805 - São Luís (MA), Brasil - E-mail: veveunivap@gmail.com

Recebido: 16/09/2014 - **Aceito:** 05/01/2017 - **Reg. ABES:** 140637

níveis de precipitação nas bacias (IPCC, 2013). Além disso, alertam para o fato sobre como tais interferências afetarão a geração da hidroeletricidade devido ao aumento/perda do potencial hídrico e hidroenergético em algumas regiões, especialmente na Região Amazônica.

Nesse contexto, Soito e Freitas (2011) e Cunha *et al.* (2014) destacam que a geração hidroenergética se tornará mais vulnerável e menos confiável em virtude das respostas hidrológicas às mudanças climáticas, em função do desconhecimento sobre as interações de processos hidrometeorológicos que ocorrem na bacia amazônica, especialmente as menores.

Apesar dessas previsões, a *International Energy Agency* (IEA, 2008) defende que tem se tornado cada vez mais necessária a utilização de fontes limpas e renováveis de geração energética como modelo mais sustentável de longo prazo de uso da energia, sendo a hidroeletricidade considerada uma fonte energética eficiente, limpa e renovável, tornando-se destaque em países como o Brasil (BP GLOBAL, 2011).

O Brasil, devido à grande disponibilidade de recursos hídricos, deverá alcançar a autossuficiência energética, mantendo a prioridade de construção de UHEs, com especial interesse na Região Amazônica (ZARF *et al.*, 2015; CUNHA *et al.*, 2014; SOITO; FREITAS, 2011; BRASIL, 2007; TUNDISI, 2005), pois apresenta a maior disponibilidade hídrica e conseqüente potencial hidrelétrico do país, estimado em 245 MW, o que garantiria a disponibilidade natural para a expansão da hidroeletricidade (SIPOT, 2013).

Wittmann (2010) descreve que, além da disponibilidade, o Brasil possui também demanda para a expansão da hidroeletricidade, mas que aspectos relativos a ganhos e perdas de natureza ambiental frente à implantação de UHEs devem ser reconsiderados. Um exemplo de impacto negativo da construção de hidrelétricas é, além do barramento propriamente dito, a regularização dos rios.

Essa regularização, de acordo com a *Water Research Commission* (WRC, 2008), está relacionada à quantidade do fluxo remanescente, conceitualmente denominado de vazão ambiental — quantidade hídrica que deve ser mantida no escoamento durante os períodos de estiagem e após variadas utilizações. É o quantitativo mínimo que garante as condições de manutenção dos ecossistemas aquáticos (LONGHI; FORMIGA, 2011; SANTOS; CUNHA, 2013).

Segundo Santos e Cunha (2013), nem sempre essas quantidades mínimas de água são suficientes para manter as condições desejáveis ao funcionamento dos ecossistemas. E, nessas circunstâncias, problemas ambientais normalmente irreversíveis podem surgir, como perda ou redução da biodiversidade e extinção de espécies aquáticas (CUNHA *et al.*, 2013; SANTOS, 2011; COSTA; ENSSLIN, 2012).

Contudo, um dos principais entraves para quantificar a vazão máxima a ser liberada para os usuários, de modo que sustente o objeto de outorga, é estabelecer os critérios que garantam as demandas de múltiplos usos nas bacias hidrográficas (CURI *et al.*, 2011).

Grazia (2013) afirma que os métodos que consideram a vazão mínima remanescente, caracterizada como a menor quantidade de água a permanecer no curso de água para suprir as demandas ambientais, ecológicas e sociais, como critério técnico para expedir outorga, limitam-se à concepção de fórmulas e modelos matemáticos, não havendo a consideração dos necessários critérios técnicos-hidrológicos e da biologia/ecologia. Desse modo, o desafio da concepção dessas metodologias é considerar as características holísticas, que extrapolem a matemática pura e aplicada, incluindo as características socioambientais no tratamento dessa intrigante temática.

Galvão (2008), Santos (2011), Santos e Cunha (2013) e Cunha (2013) defendem a hipótese de que o cálculo dessas vazões deve também considerar, além do critério estatístico-hidrológico, a adoção de parâmetros ecológicos, sociais, econômicos e até culturais. Isto é, características socioambientais que se ajustem às particularidades das bacias hidrográficas, sujeitas a diferentes interferências antrópicas, inclusive as referidas a impactos operacionais de UHEs, pois podem ser melhor analisadas sob uma perspectiva holística.

Diante do exposto, uma situação provavelmente ideal seria a adoção de um método dotado de critérios efetivamente holísticos e, ao mesmo tempo, que considerasse os aspectos específicos de cada bacia hidrográfica. Diversos autores, já citados anteriormente, destacam que o cálculo da vazão ecológica necessita se adaptar às particularidades e necessidades naturais de cada bacia hidrográfica, sem perder de vista as demandas humanas por água ao longo do seu ciclo hidrológico (CUNHA; PINHEIRO; CUNHA, 2013). Nesse contexto, as potencialidades individuais de cada recurso hídrico resultarão em diferentes possibilidades de abordagens, incluindo tanto as variáveis estatísticas quanto as mais holísticas, como as ecológicas, sociais, econômicas e culturais, simultaneamente (GALVÃO, 2008; CURI *et al.*, 2011).

O objetivo da presente investigação foi adaptar o método de estimativa do potencial de vazão ambiental (PVA), já aplicado em pequenas bacias hidrográficas (GALVÃO, 2008), em três grandes bacias da Amazônia Oriental (Tocantins, no Pará; Jari, no Amapá e Pará; e Araguari, no Amapá). Nos três estudos de caso foram considerados os seguintes parâmetros: estresse hidrológico (Eh), valor ecológico e cultural (Vec) e dependência econômica (De), segundo os quais estavam em três diferentes estágios de uso dos recursos hídricos e sob impactos de reservatórios de UHE: fase de planejamento; fase de instalação; e fase de operação.

A principal hipótese da investigação é que a estimativa do PVA não deve ser apenas consequência do objeto de outorga, e sim utilizada como ferramenta de auxílio à prevenção ou redução de impactos ambientais no planejamento e na gestão de grandes bacias hidrográficas como as da Amazônia. Portanto, as justificativas são suportadas pelas evidentes e significativas extensões territoriais afetadas por reservatórios na Amazônia sem monitoramento efetivo, região conhecida como uma fronteira da expansão hidroenergética brasileira. As notórias deficiências do sistema

de monitoramento hidrológico de superfície nessas bacias também geram incertezas na elaboração de cenários de mudanças hidroclimáticas regionais, influenciando quantificações de processos hidrológicos relacionados à geração de energia hidrelétrica. Consequentemente, surgem erros de avaliação em relação aos múltiplos usos dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas. O PVA auxilia os planejadores e gestores de recursos hídricos a contornar tais limitações.

MATERIAL E MÉTODOS

Área em estudo

Foram estudadas três bacias hidrográficas sujeitas a impactos de reservatórios na Amazônia: Rio Tocantins (apenas área de impacto direto

da UHE de Tucuruí, no Pará); Rio Araguari, no Amapá (área sobre influência direta e indireta da UHE de Coaracy Nunes, UHE Ferreira Gomes I e Cachoeira Caldeirão); e área de influência direta e indireta da construção da UHE de Santo Antônio do Jari, no Amapá, que irá operar a partir de 2017, conforme indicado na Figura 1.

A Bacia do Tocantins foi escolhida por apresentar significativa variação de vazões, com valores médios compreendidos entre 2.000 e 36.000 m³/s, respectivamente entre os períodos seco e chuvoso. Essa é a segunda maior bacia hidrográfica genuinamente brasileira com potencial hidroenergético instalado de 11.573 MW (16% do país), representando quase 50% do potencial hidrelétrico da região norte, da ordem de 23.825 MW (ANA, 2010).

A segunda bacia, a do Rio Araguari, foi escolhida por ser a de maior importância estratégica para o estado do Amapá. Nessa bacia

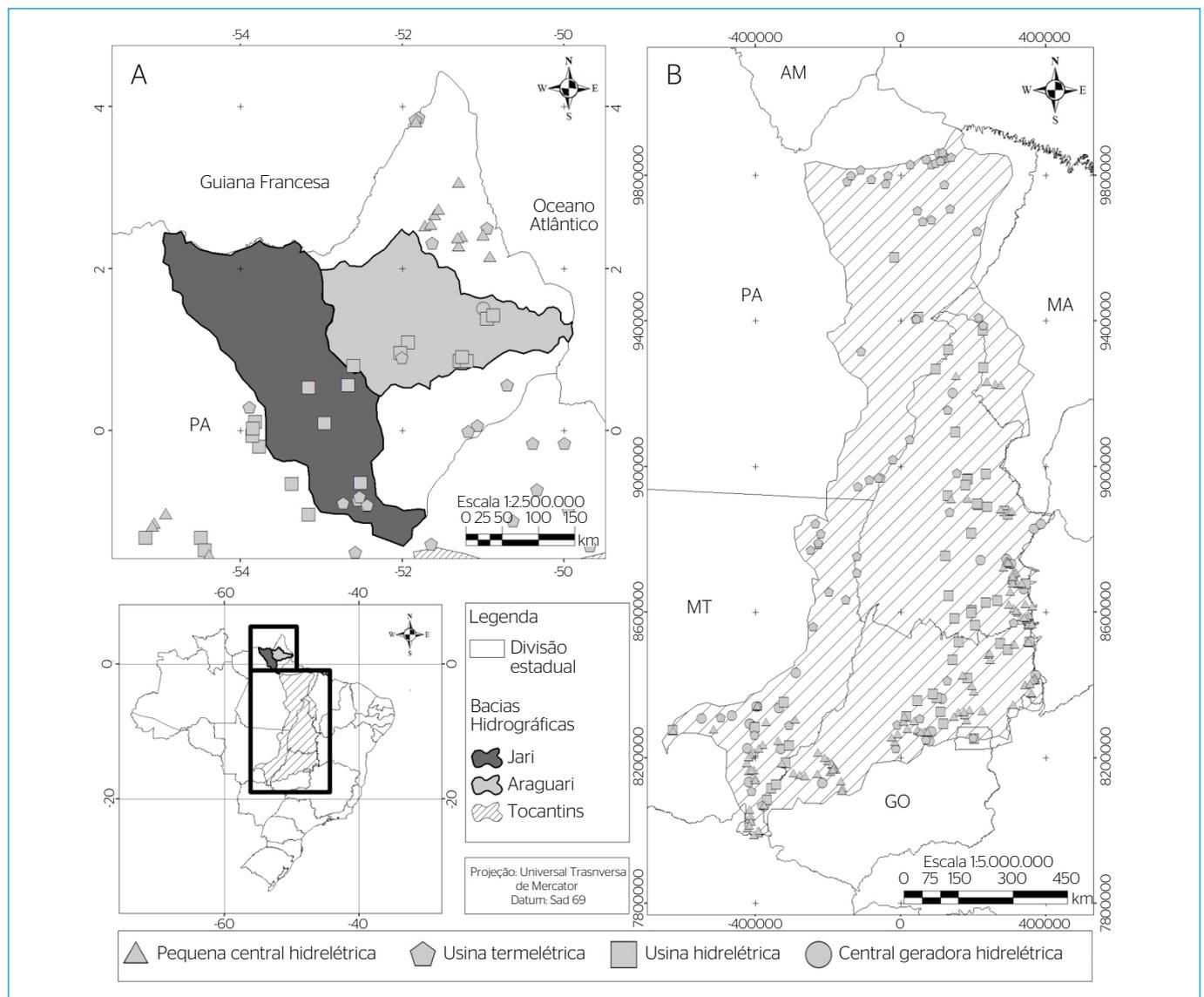


Figura 1 - Mapa de localização das áreas estudadas: A) mapa do estado do Amapá com as bacias do Jari e Araguari em destaque; B) Bacia do Tocantins em destaque.

está sendo desenvolvida a interligação energética do estado do Amapá com o sistema de produção e distribuição nacional brasileiro. A Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHECN) foi instalada há mais de 38 anos e tem sido utilizada com a finalidade de gerar energia elétrica no modo operacional isolado do estado do Amapá. Porém, atualmente está em fase de repotencialização de sua estrutura instalada, sem a necessidade de elevação do tamanho do reservatório, cujo objetivo final é inserir a UHE Coaracy Nunes no sistema nacional.

Ainda na bacia do Rio Araguari, além da presença da UHE Coaracy Nunes e sua repotencialização hidroenergética, foi instalada a UHE Ferreira Gomes I e está sendo finalizada a UHE Cachoeira Caldeirão, sendo a primeira com operação a “fio d’água” e a segunda como operação de reservação (ELETRONORTE, 2006; SANTOS, 2012; CUNHA *et al.*, 2011; CUNHA; PINHEIRO; CUNHA, 2013; CUNHA *et al.*, 2014).

A terceira bacia hidrográfica estudada foi a do Rio Jari. Essa bacia apresenta significativa variabilidade hidroclimática com implicações sobre a vulnerabilidade hídrica local. Nessa bacia ocorrem frequentes eventos sazonais de precipitação extrema, causando fenômenos hidrológicos como enchentes e alagamentos urbanos na cidade de Laranjal do Jari, considerados frequentemente como de grandes proporções (OLIVEIRA; CUNHA, 2014; LUCAS; BARRETO; CUNHA, 2010). Além disso, está em fase final de construção a UHE de Santo Antônio, a montante da área de susceptibilidade a eventos extremos (OLIVEIRA, 2011; SANTOS, 2011). Ambos os fatores tendem a elevar o nível de complexidade do comportamento das vazões no trecho a jusante em relação às cidades mais populosas dessa bacia, na região do baixo Jari.

Em termos ambientais, na cidade de Laranjal do Jari há evidências de que em períodos sazonais chuvosos (outono e primavera) a probabilidade de contaminações por esgotos sanitários se intensifique na área mais urbanizada (OLIVEIRA; CUNHA, 2014). Concorre para intensificar tais efeitos a localização da cidade de Laranjal do Jari, a jusante do barramento da UHE Santo Antônio. Há preocupação das autoridades e comunidades locais quanto às frequentes enchentes de grandes proporções, as quais poderão se somar aos eventuais problemas de operação do reservatório da nova hidrelétrica, apesar desse operar hidráulicamente a “fio d’água”, sem o efeito de regularização.

O método do potencial de vazão ambiental

O método do PVA é um método simples e, em virtude do nível de respostas e eficiência das mesmas, considerado barato. Esse método oferece uma primeira aproximação para vazões ambientais incorporando características de categorias de outros métodos, como o *Look-up Tables* (DYSON; BERGKAMP; SCALON, 2003), que utiliza tabelas para cálculo dos indicadores e propõe percentual de vazões de restrição. A inovação trazida pelo PVA em relação aos métodos de tabelas é a realização de processos participativos (oficina de especialistas) que objetivam adaptar a metodologia por meio dos conhecimentos de

pesquisadores de diversas áreas sobre a bacia estudada, mas também da sugestão de moradores das comunidades locais afetadas por possíveis alterações na bacia hidrográfica.

O PVA é calculado pelo produto de três indicadores que, combinados, resultam na vazão ambiental para o curso d’água estudado: Eh, Vec e De (GALVÃO, 2008), conforme indicado na Equação 1.

$$PVA = Eh \cdot Vec \cdot De \quad (1)$$

Em que:

Eh é o estresse hidrológico;

Vec é o valor ecológico e cultural; e

De é a dependência econômica.

Todos os indicadores apresentam o mesmo grau de importância para o método. Buscou-se, assim, primeiro identificar o grau de estresse ao qual o recurso hídrico está submetido (variável Eh), buscando englobar de forma geral as sistemáticas ecológicas e interações entre os organismos, de forma a assegurar água suficiente para o desenvolvimento desses indivíduos. O segundo indicador é relacionado a variáveis culturais das populações que margeiam o recurso hídrico (variável Vec). E, em terceiro lugar, consideram-se as atividades econômicas realizadas na área da bacia a ser derivada e, considerando que essas já são existentes, devem ser mantidas (variável De). A soma dos valores obtidos para cada uma dessas variáveis gera o valor final do PVA, conforme indicado pela Figura 2.

Cabe ressaltar que é atribuída a cada uma das variáveis uma valorização qualitativa. Assim, cada indicador (Eh, Vec e De) possui três níveis (baixo/médio/alto) que correspondem aos valores 1, 2 ou 3, respectivamente. Esses valores são obtidos por meio de tabelas que contêm parâmetros hidrológicos, econômicos, ambientais e culturais. Esses níveis são valorados de acordo com o grau de importância para a comunidade. O produto dos indicadores (PVA) varia de 1 a 27. Quanto maior for o resultado, maior será a vazão ambiental proposta. Isto é, em favor da proteção dos ecossistemas aquáticos.

O Eh é o indicador que estima o impacto ao qual o curso d’água está submetido, considerando o balanço entre a oferta e a demanda de água e os efeitos sobre sua extração, além dos impactos climáticos no recurso hídrico.

O Eh é calculado por duas subvariáveis: razão de uso dos recursos hídricos (RU) e vulnerabilidade às mudanças climáticas. Segundo Galvão (2008) a RU é calculada por meio da demanda de água (m^3/s) no mês mais crítico da série de vazão estudada, e a vazão disponível como sendo a média de longo prazo das vazões. O resultado é classificado em baixo ($RU < 20\%$), médio ($20\% \leq RU \leq 50\%$) e alto ($RU > 50\%$).

Para o cálculo da vulnerabilidade às mudanças climáticas são consideradas as subvariáveis: variabilidade às mudanças climáticas

e a não estacionariedade da série histórica de vazões. A variabilidade é calculada por intermédio do coeficiente de variação estatístico (CV) dos valores médios das vazões da série. O resultado do coeficiente de variação é classificado em baixo ($CV > 15\%$), médio ($15\% \leq CV \leq 30\%$) e alto ($CV > 30\%$). O coeficiente de variação é obtido por meio da Equação 2.

$$CV = \frac{S}{x} \cdot 100 \quad (2)$$

Na qual:

CV é o coeficiente de variação;

x é a média dos dados; e

S é o desvio padrão.

A não estacionariedade da série é obtida por meio da Equação 3.

$$tc = \left| \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \right| > t_{1-\alpha/2, v} \quad (3)$$

Na qual:

t_c é o valor de t;

$t_{(1-\alpha/2), v}$ é o t de Student a 99% de confiança;

r é o coeficiente de correlação entre $q_{(i)}$ e número de anos estudados (i); e

N é o número de anos da série, com $v=N-2$ graus de liberdade.

O resultado de t_c é classificado em baixo ($t_c > 0,9t$), médio ($0,9t \leq t_c \leq 1,1t$) e alto ($t_c > 1,1t$).

A segunda variável mostrada na Figura 2 é o Vec, que determina os valores dos atributos ecológicos e culturais importantes para o curso d'água. Esses atributos são influenciados pela redução ou pelo aumento da vazão, conforme observado por Benetti, Lanna e Cobalchini (2003) e Mérona *et al.* (2010).

Para o cálculo do Vec são consideradas informações específicas da área em estudo. As características consideradas são: sensibilidade

à redução da vazão, integridade do meio físico, diversidade, raridade, características especiais e valores não extraíveis dos cursos d'água.

O levantamento dessas informações é realizado através de estudos bibliográficos e da avaliação de especialistas ambientais, que são convidados a discutir a situação daquela área específica, com vista a chegar a um entendimento. Esses especialistas são profissionais formados em áreas diversas como engenharia, hidrologia, ecologia, biologia, direito, geografia, além de representantes das comunidades.

Com o uso de uma tabela, cada uma das variáveis é classificada em baixo, médio e alto, cujos valores numéricos correspondem a 1, 2 e 3, respectivamente. Após classificadas são calculadas as somas parciais das subvariáveis, e a soma total referente às seis variáveis, conforme observado na Figura 3, aplicadas às três bacias estudadas. Essas metodologias foram adaptadas de Santos (2011) e Galvão (2008).

A terceira variável, a De, estima a dependência da comunidade em relação à extração de água, considerando seu valor para a agricultura e o abastecimento urbano.

A De é calculada por meio de duas variáveis: o potencial de gestão da demanda e o valor econômico da extração. Segundo Galvão (2008), o valor final para o indicador De é a única que possui valoração inversa em relação aos demais indicadores que compõem o PVA. Assim, quanto maior for a De, menor deve ser o PVA, uma vez que o valor econômico da água é fator importante na economia da unidade de manejo avaliada.

Os três parâmetros que compõem o PVA possuem três subníveis que correspondem aos valores finais de 1, 2 ou 3, os quais são obtidos por meio de tabelas contingentes (pontuação) dotadas de valores quantitativos hidrológicos, econômicos, ambientais e culturais. O produto ou score de tais indicadores (PVA) varia entre 1 e 27, sendo o de maior valor o que deterá a vazão ambiental proposta (SANTOS, 2011).

Adaptação da metodologia

A adaptação da metodologia PVA, com base em Galvão (2008), foi realizada por intermédio de trabalho de campo e participação social.

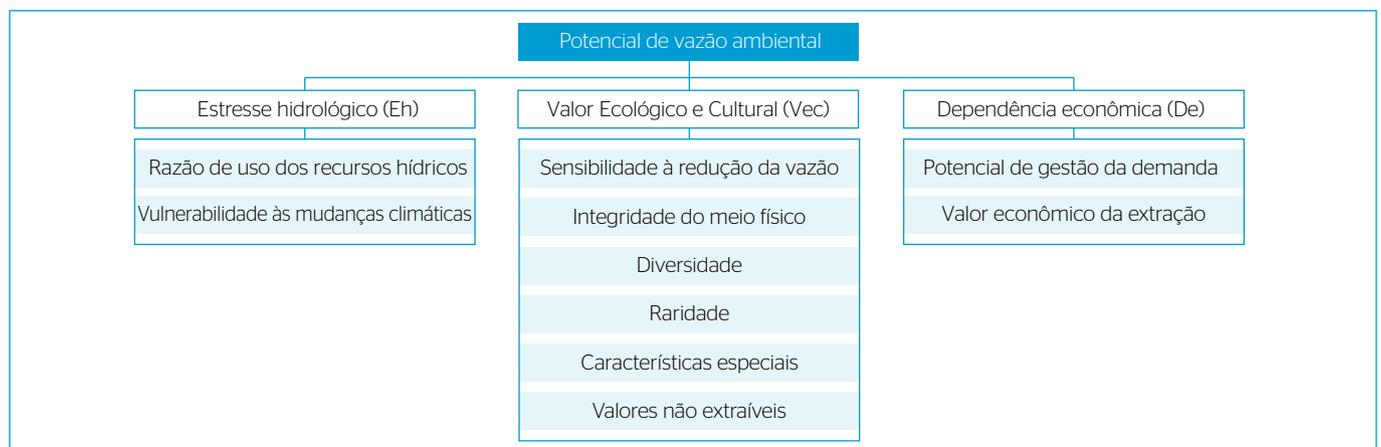


Figura 2 - Esquema das variáveis que compõem o cálculo do potencial de vazão ambiental.

Esta ocorreu com o processo de mobilização de representantes sociais e dos diversos setores que tinham interesse na utilização de vazões da bacia. A mobilização foi essencial para o passo seguinte, que foi a realização de uma reunião, denominada oficina de especialistas. Essas oficinas ocorreram em três bacias hidrográficas da Amazônia Oriental.

A diversidade de características físicas e socioambientais dessas três bacias hidrográficas (Tocantins, Jari e Araguari), na visão das oficinas de especialistas, é o ponto-chave para a readaptação da metodologia do PVA (SANTOS, 2011).

As oficinas de especialistas foram realizadas *in loco*, nas dependências das UHEs ou em áreas próximas das construções. Para incrementar o número de participantes nas oficinas também foram visitadas instituições municipais e estaduais, para a realização do convite para participação do processo de discussão da determinação da vazão ambiental.

A Figura 4 mostra um esquema que detalha, em linhas gerais, o processo participativo nas bacias investigadas.

Após a realização do processo participativo, realizado em cada um dos municípios, foi elaborado um modelo funcional e conceitual para o PVA. Nesse processo cada membro participante (denominado de especialista) analisou as três variáveis que compunham o PVA com a finalidade de proposição de sugestões para modificação de alguns

parâmetros, de forma a adequar a metodologia às respectivas realidades das bacias estudadas.

Essas etapas seguiram os procedimentos e as recomendações de Clipperton *et al.* (2003); NSW (2006); Enserink *et al.* (2007) e Von Korff *et al.* (2010), segundo o contexto holístico da participação social.

Durante as oficinas, a primeira recomendação foi realizada no parâmetro Eh, em virtude da dificuldade do levantamento de informações que totalizassem a demanda de uso nas bacias investigadas. Dessa forma, os participantes (especialistas e representantes comunitários) sugeriram que a RU fosse calculada por meio do produto da vazão média do mês mais seco (Q_d) pela vazão média de longo período (Q_{med}), conforme a Equação 4.

$$RU = \frac{Q_d}{Q_{med}} \times 100 \tag{4}$$

A determinação da vulnerabilidade às mudanças climáticas permaneceu igual ao método original, já detalhado na metodologia.

Para a variável Vec algumas subvariáveis foram incluídas, como a capacidade de produção aquícola da bacia, a viabilidade turística e o potencial para a navegabilidade, como exemplo o uso da Eclusa de Tucuruí, com elevado potencial para a navegação a montante e a

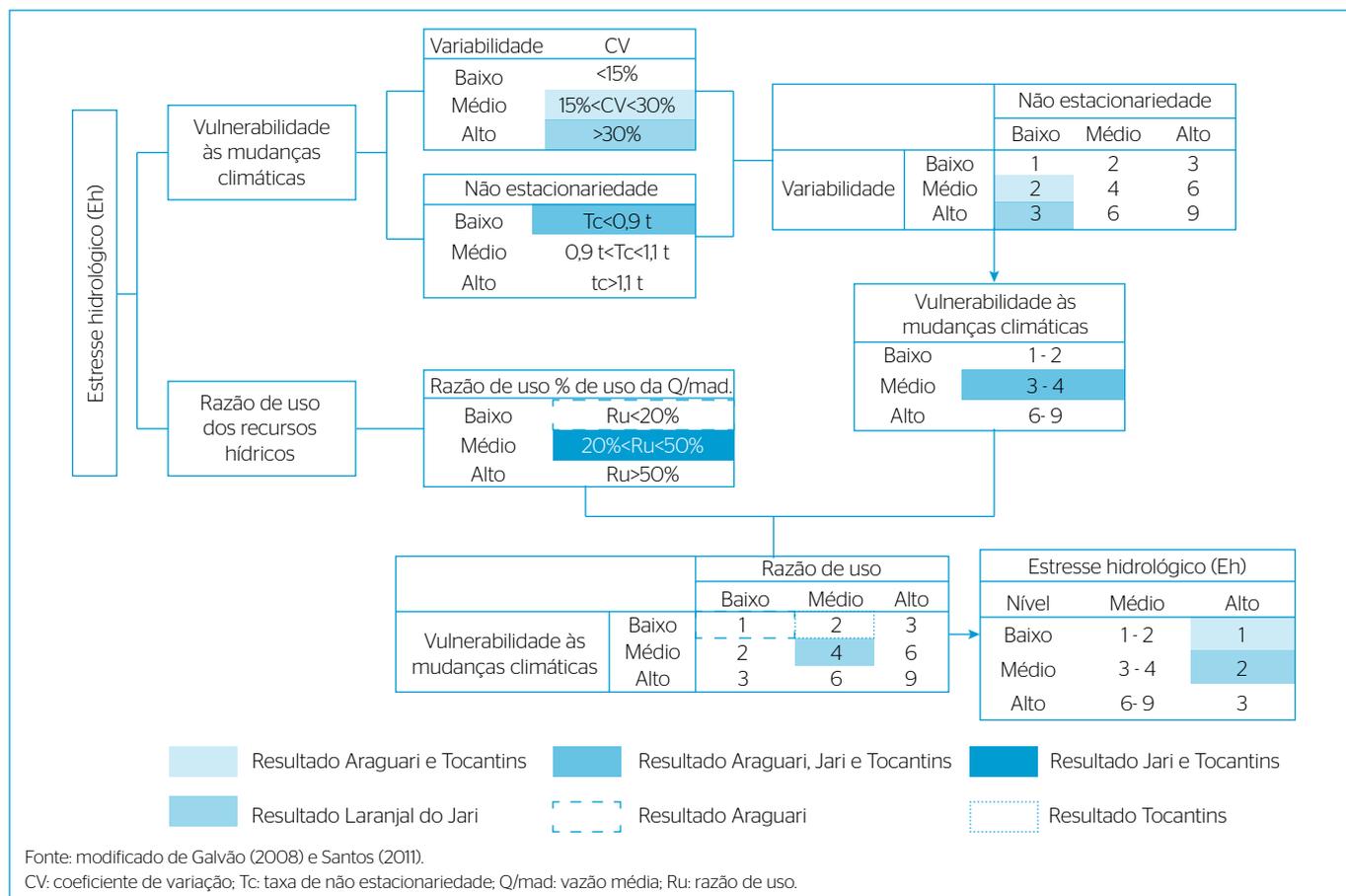


Figura 3 - Cálculo das subvariáveis que compõem a variável estresse hidrológico para as três bacias estudadas.

jusante da UHE de Tucuruí. A presença da eclusa junto à barragem em sua margem esquerda apresentou elevada valorização ao sistema de navegação regional.

Além das variáveis mencionadas anteriormente, incluíram-se novas, antes não consideradas na De. Dentre elas a capacidade local de tratamento de esgoto, em que surgiram propostas de valorização da água para geração energética e a dependência da navegabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NAS ÁREAS EM ESTUDO

Com base no método esquematizado na Figura 2 foram coletadas as informações dos painéis de especialistas (processo participativo), em que cada etapa serviu de base para a construção e parametrização das variáveis Eh, Vec e De.

Cálculo do estresse hidrológico

O primeiro parâmetro a ser calculado foi o Eh. Os resultados são mostrados na Figura 3.

Cada tabela que constitui a variável Eh está enumerada e esses números representam a sequência do valor final do parâmetro em cada bacia. Para as bacias do Tocantins e do Araguari, o resultado encontrado para o parâmetro Eh foi igual a 1. Ou seja, uma classificação baixa, conforme observado na Figura 3.

Na Bacia do Tocantins os resultados refletem os valores das altas vazões do rio. Dessa forma, entendemos que as altas vazões do rio suprem as demandas intensas e divergentes realizadas no curso do rio, justificando o baixo valor para o Eh encontrado, mesmo sendo a Bacia do Tocantins intensamente utilizada para diversas atividades.

No entanto, mesmo não configurando um cenário de estresse na bacia, é importante atentar para a necessária manutenção de água em

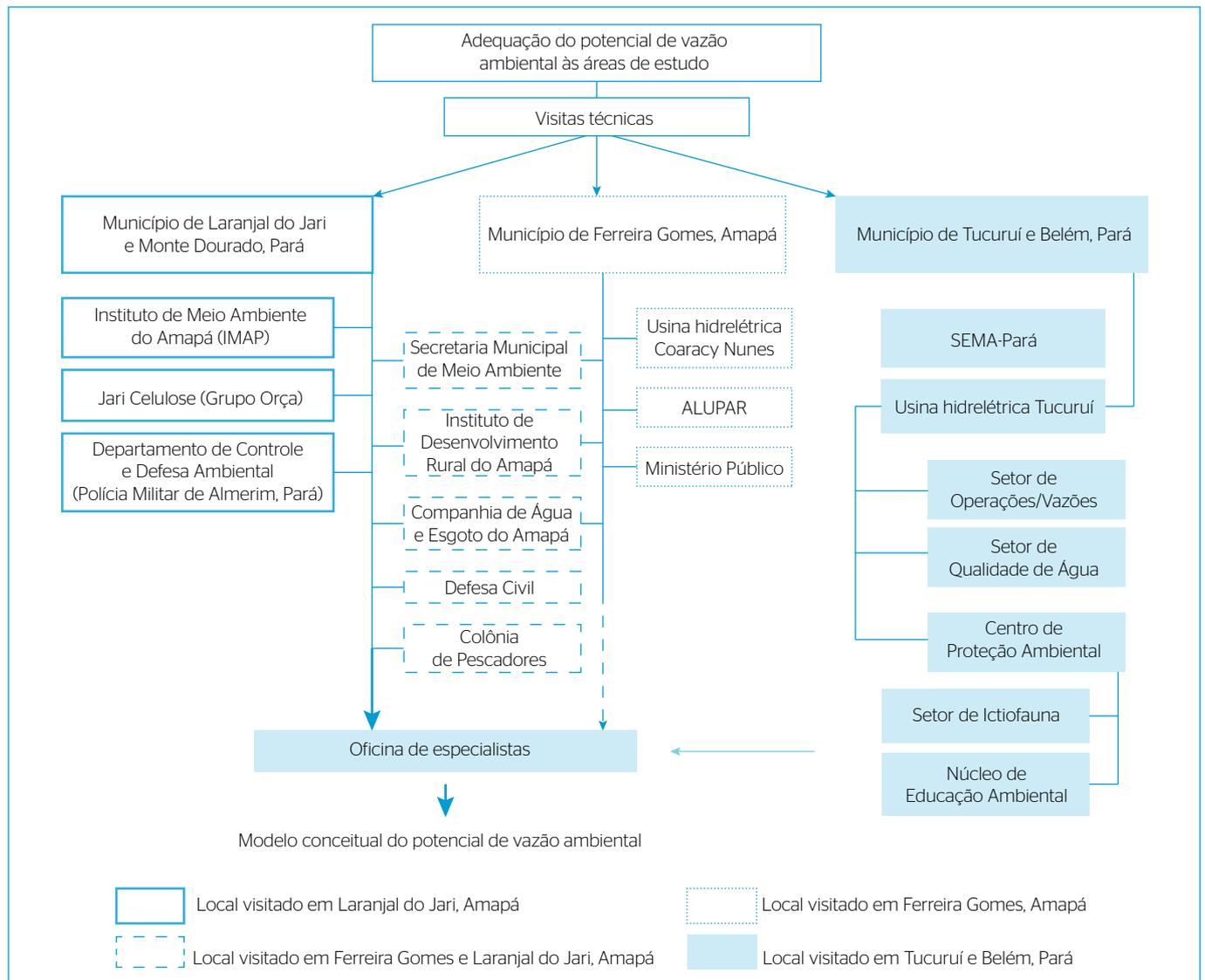


Figura 4 - Esquema do processo participativo referente às três bacias hidrográficas estudadas.

quantidade e qualidade para suportar a vazão ambiental e, consequentemente, sustentar as necessidades dos ecossistemas, como a biodiversidade aquática, conforme já discutido por Galvão (2008), Santos (2011), Costa e Ensslin (2012), Cunha *et al.* (2013) e Santos e Cunha (2013), ao sugerirem novas formas de cálculos de vazões ambientais baseadas em necessidades reais dos ecossistemas estudados.

Um fator a ser considerado, por exemplo, na Bacia do Tocantins, na proximidade da barragem da UHE Tucuruí, é a tendência de processos de eutrofização no reservatório, especialmente durante os períodos secos.

Para o Rio Araguari, o baixo valor do Eh, conforme observado na Figura 3, pode ser explicado em virtude da incipiente derivação de suas águas. No entanto, a derivação das águas do Rio Araguari para geração hidrelétrica e os sucessivos barramentos previstos para o rio podem modificar o padrão de oferta das vazões com consequências negativas aos ecossistemas naturais e populações ribeirinhas (CUNHA *et al.*, 2012; SANTOS, 2012; CUNHA *et al.*, 2013), como a modificação no padrão de riqueza de espécies de algas (CUNHA, 2013), valores das taxas de reoxigenação da água, temperatura e velocidade, dentre outras, nos trechos barrados (CUNHA *et al.*, 2011), que afetam o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, como a distribuição de algas, reprodução de peixes e crustáceos. Por essa razão, o Eh deve ser tratado com atenção, frente à instalação sequencial desses empreendimentos hidrelétricos no Rio Araguari.

No Rio Jari, a classificação do Eh foi maior do que nas demais áreas estudadas, apesar de a UHE de Santo Antônio estar à época em fase de planejamento quando da coleta da investigação. Essa classificação média para o parâmetro Eh ocorreu em virtude do índice de variabilidade climática, que frequentemente afeta o padrão de precipitação, causando transtornos à população por enchentes (LUCAS; BARRETO; CUNHA, 2010). Desse modo, destaca-se uma condição socioambiental de alta vulnerabilidade na Bacia do Jari.

A não regularização das vazões do Rio Jari, até o momento da presente pesquisa, diverge do comportamento das outras duas bacias analisadas, haja vista que no período de investigação ainda não tinha sido construído o barramento físico em seu curso principal, mas que o mesmo estava ainda em construção de sua ensecadeira. Ressalte-se que o barramento dessa referida ensecadeira rompeu-se no dia 29 de março de 2014, ocorrendo a morte de cinco operários no local, além de muitos outros entraves ambientais e sociais avaliados.

O resultado do Eh provavelmente deverá ser alterado quando a UHE de Santo Antônio do Jari estiver finalizada ou em operação, o que era esperado para 2015 ou 2016 (OLIVEIRA; CUNHA, 2014). Essa modificação poderá ocorrer em virtude do enchimento e início da operação do reservatório da UHE. Provavelmente o barramento elevará o nível do parâmetro Eh, uma vez que sua avaliação já apresentou estresse elevado sem o barramento (SANTOS, 2011). Apesar de sua operação prevista ser a “fio-d’água”, hipoteticamente não mudará o padrão do

fluxo ou descarga líquida do rio, mas provocará impactos associados nas fases de enchimento e operação hidráulica.

Cálculo do valor ecológico e cultural

A Figura 5 descreve as subvariáveis e os resultados considerados no cálculo do Vec, de acordo com as sugestões de adaptações dos especialistas.

O valor do Vec foi mediano (2) nas três bacias estudadas. O valor final do Vec indica que deve haver disponibilidade suficiente de água para a manutenção da qualidade e consequentemente da biodiversidade local, o que é extremamente importante (BÁRBARA; CUNHA; SIQUEIRA, 2010). Esse argumento é reforçado por Tundisi (2007) quando observa que na região amazônica ocorre alta diversidade de organismos aquáticos, mas que a mesma é pouco explorada ou conhecida, como exemplo o grupo dos fitoplânctons (CUNHA *et al.*, 2013). Essa falta de conhecimento apresenta-se subjetivamente como um risco adicional, que pode ser agravado quando ocorre a ameaça da exploração de aproveitamentos hidrelétricos e outros empreendimentos econômicos (CUNHA *et al.*, 2013).

Cálculo da dependência econômica

O terceiro parâmetro a ser calculado é a De, cujos resultados são detalhados no esquema da Figura 6.

O valor calculado para De das bacias Tocantins e Araguari foi intermediário e igual a (2). Esse resultado mostra a importância das atividades econômicas desenvolvidas nessas bacias, que são diretamente dependentes da água. Apesar de não se verificar entraves quantitativos para essa dependência, em curto prazo, isso não ocorre quanto ao aspecto qualitativo. Por exemplo, Cunha *et al.* (2011) diagnosticaram a necessidade de intervenções para a manutenção da qualidade das águas nessas bacias. Entretanto, *a priori*, a dependência econômica está mais fortemente relacionada ao lazer e à geração de energia, com ênfase na última, em detrimento do consumo agrícola ou abastecimento.

De acordo com Santos (2011), a dependência da água para o lazer movimenta positivamente o comércio nos municípios ao entorno do Rio Araguari, pois nessa bacia existem diversas localidades (pousadas e restaurantes) que geram emprego e renda, proporcionalmente ao aumento da frequência de visitas turísticas nos balneários. Por outro lado, na Bacia do Tocantins, a dependência da água está fortemente relacionada à geração hidrelétrica devido a sua grande escala e ao histórico de produção que impacta toda a região (ANA, 2010).

Com esses argumentos, o Rio Jari apresenta grau De elevado (1), ressaltando-se que esse indicador apresenta escala inversa em relação aos demais. Desse modo, esse resultado indica existência de forte dependência econômica dos serviços prestados pela água à população, destacando-se também a navegação comercial regional, apresentando importância socioeconômica relevante.

Resultado final do potencial de vazão ambiental

Os resultados das três variáveis — Eh, Vec e De — são aplicados à equação do PVA, gerando um valor final representado pelo esquema da Figura 7. Destaca-se que o resultado final do PVA para as três

bacias estudadas depende dos valores numéricos que são utilizados para classificar a proposição de estratégias de gerenciamento (trecho ou bacia) estudadas individualmente, segundo suas especificidades regionais.

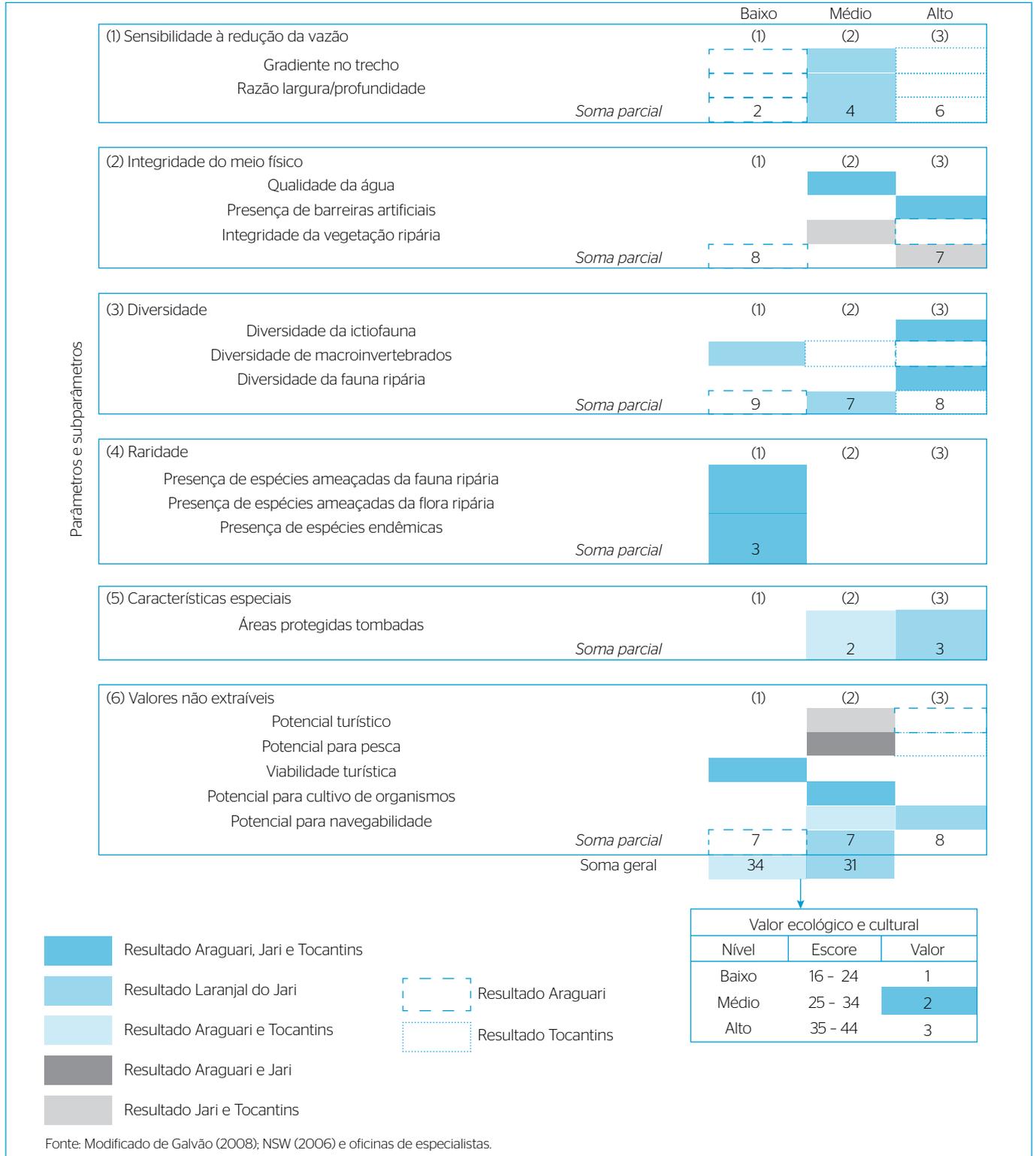


Figura 5 - Variáveis que compõem o cálculo do valor ecológico e cultural e cálculo da variável para as três bacias estudadas.

Os valores individuais das três subvariáveis que compõem o PVA são aplicados à Equação 1 e o valor final é comparado às classes numéricas estabelecidas pelo método (SANTOS, 2011; GALVÃO, 2008).

O método está dividido em três classes, cujos valores estão compreendidos entre 1 e 3, e classificam o potencial de vazão ambiental em ordem crescente, sendo os maiores valores atribuídos a bacias em condições mais

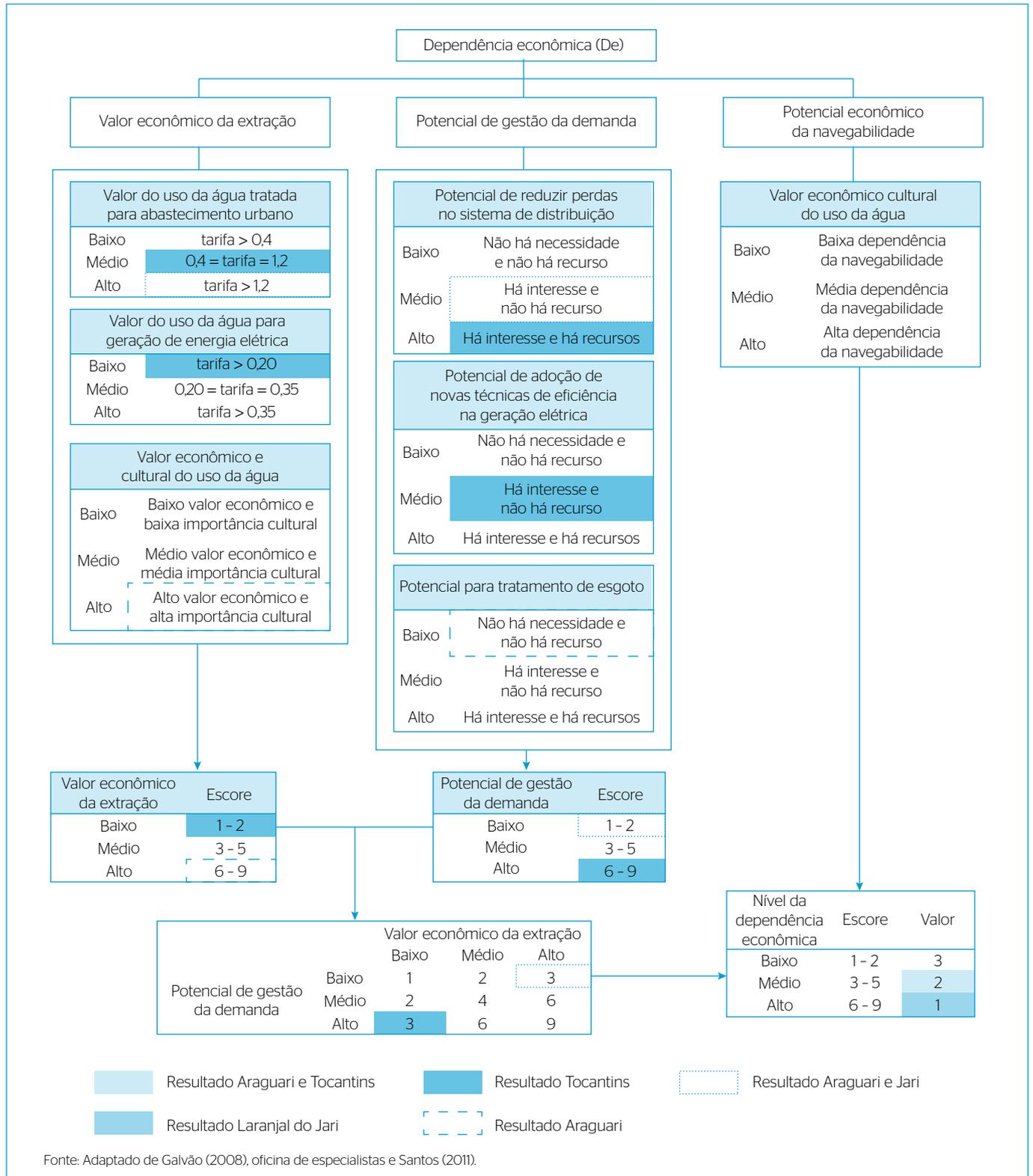


Figura 6 - Subvariáveis que compõem o cálculo da dependência econômica e o cálculo da variável para as três bacias estudadas.

estressantes. As implicações dessas análises são sugestões gerenciais que podem ser desdobradas em possíveis medidas mitigadoras de impactos ambientais, especialmente elaboradas para cada categoria, conforme detalhado na Figura 7. Desse modo, à medida que o valor do PVA aumenta, uma nova categoria é formada. No presente caso os valores que variam entre 4 e 12 classificam o PVA em uma categoria intermediária, requerendo maiores cuidados com as recomendações da vazão ambiental.

Na terceira categoria do método os valores variam entre 13 e 27 e indicam que para aquela bacia hidrográfica as recomendações da vazão ambiental estão em estado mais crítico e que diversas medidas mitigadoras devem ser realizadas.

O resumo da Figura 7 mostra que para as três bacias estudadas o resultado final do PVA é classificado como intermediário. Nas bacias do Tocantins e Araguari, que sofrem influência ativa de barramentos, a variável que mais influenciou o valor final do PVA foi o Eh, sugerindo que, diante dos impactos diretos de barramento, a vazão é alta e mantém com facilidade o equilíbrio do ecossistema ou a diversidade

aquática. Contudo, esse cenário tende a mudar rapidamente na medida em que essas vazões continuarem sendo modificadas por usos diversos, dentre eles os novos barramentos regularizados (por exemplo, a UHE Cachoeira Caldeirão). Nesse caso, o resultado do PVA pode se alterar de uma categoria para outra (SANTOS, 2011; CUNHA *et al.*, 2014).

O método do PVA, ao considerar critérios mais holísticos de avaliação do estado ambiental das bacias, como déficits potenciais de recursos hídricos, estatísticas hidrológicas, características climáticas e aspectos sociais e culturais, também apresenta a vantagem de propor uma série de medidas mitigadoras relacionadas, abrangendo outros aspectos além dos métodos puramente estatísticos hidrológicos, por exemplo aplicados na outorga de recursos hídricos de várias regiões do Brasil (SANTOS; CUNHA, 2013). Cabe destacar que há certo consenso na literatura da área de que a aplicação de métodos puramente quantitativos não responde satisfatoriamente a determinação de vazões remanescentes (SANTOS; CUNHA, 2013).

Conforme observado na Figura 7, uma das medidas gerenciais propostas pela presente metodologia seria o aumento da “vazão ecológica”

Potencial de vazão ambiental PVA = Eh x Vec x De								
Estresse hidrológico (Eh)			Valor ecológico e cultural (Vec)			Dependência econômica (De)		
Nível	Escore	Valor	Nível	Escore	Valor	Nível	Escore	Valor
Baixo	1 - 2	1	Baixo	16 - 24		Baixo	1 - 2	3
Médio	3 - 4	2	Médio	25 - 34	2	Médio	3 - 4	2
Alto	6 - 9	3	Alto	35 - 44	3	Alto	6 - 9	1
Resultados	Potencial de Vazão Ambiental		Medidas mitigadoras					
1 - 3	Baixo		Manutenção dos limites de outorga vigente Incentivos à racionalização do uso da água Incentivo à educação ambiental na bacia hidrográfica Incentivo à revegetação ripária com espécies nativas					
4 - 12	Médio		Aumento de pelo menos 25% da vazão de restrição Incentivos à racionalização do uso da água Incentivo à educação ambiental da bacia hidrográfica Incentivos à redução das perdas nos sistemas de distribuição da água Incentivo à cobrança pelo uso da água superficial Incentivo à revegetação ripária com espécies nativas Monitoramento dos usos da água superficial da bacia					
13 - 27	Alto		Aumento de pelo menos 25% da vazão de restrição Incentivo financeiro à racionalização do uso da água Fiscalização frequente Instalação de equipamentos individuais de medição das vazões nas captações Maior restrição na outorga de águas superficiais Restrição na outorga de águas subterrâneas Incentivo à redução das perdas no sistema de distribuição de água Incentivo à revegetação ripária com espécies nativas Incentivo à cobrança pelo uso da água subterrânea					

PVA: Potencial de vazão ambiental; Eh: estresse hidrológico; Vec: valor ecológico e cultural; De: dependência econômica.

Figura 7 - Resultado final do potencial de vazão ambiental.

por volta de pelo menos 25% da vazão de restrição prevista no estudo de impacto ambiental das respectivas UHEs, segundo as considerações dos próprios especialistas. Contudo, como observado na literatura, esse percentual não é preciso nem dispõe de critérios objetivos. No presente caso, sugere-se valor superior aos elaborados nos estudos de impactos ambientais, uma margem maior que gere mais segurança. Esses valores são um bom indicativo da necessidade de mais estudos sobre vazão ecológica nas bacias ao longo do ciclo hidrológico (CUNHA *et al.*, 2013). Por exemplo, se a vazão ambiental do Rio Araguari estivesse regulamentada, o que ainda não é uma realidade, somente por métodos baseados em critérios estocásticos e dados hidrológicos, como Q_{90} , a vazão de restrição seria da ordem de $107 \text{ m}^3/\text{s}$. Aplicando as recomendações do PVA para esse caso específico, seria necessário aumentar o valor para $133,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Entretanto, em estudos mais recentes (SILVA, 2015), foi observado, em relatórios operacionais, um valor de vazão sanitária igual a $57 \text{ m}^3/\text{s}$ pela empresa operadora da UHE Ferreira Gomes. Esse valor não apresenta qualquer base científica, mas desfavorece o critério ecológico e, de modo contrário, favorece o empreendedor hidroenergético em caso de necessidade de reserva hídrica, mesmo que opere a “fio d’água” (com flexibilidade de até 10% da variação do volume do reservatório), que pode impactar o sistema no período seco (CUNHA *et al.*, 2011).

O referido aumento de vazão pode ser considerado um fator de segurança, assegurada de forma mais ampla na proposta do método PVA. Entretanto, além de considerar que essa vazão poderia variar ao longo de um período sazonal, devido às flutuações hidrológicas anuais, esse valor não necessariamente seria fixo, como ocorre frequentemente na literatura da área (CUNHA *et al.*, 2013; CUNHA; PINHEIRO; CUNHA, 2013; SANTOS, 2012).

O método do PVA também poderia ser aplicado visando as necessidades prioritárias, auxiliando na gestão de cada bacia hidrográfica, tomando como base para decisões gerenciais no uso múltiplo de recursos hídricos. Essa hipótese converge com as propostas da maioria dos Comitês de Bacia no Brasil e no exterior, além de estar mais alinhada com a atual legislação da PNRH e as políticas dos respectivos estados da federação.

Desse modo, de acordo com a Figura 7, o PVA não só avalia amplamente o grau do impacto quantificado por variáveis e subvariáveis facilmente mensuráveis, mas também produz soluções propostas pela própria comunidade envolvida e demais participantes do processo de decisão. Esses mesmos argumentos são também defendidos por Enserink *et al.* (2007), os quais afirmam que “os processos decisórios tornam-se mais facilmente gerenciáveis na forma participativa, vez que apresentam maior potencial de aceitação junto à própria comunidade do entorno que tomou tais decisões”.

Do ponto de vista mais amplo, em escala regional, como é o caso da Amazônia Oriental ou em nível de países, Zarfl *et al.* (2015) afirmam que, apesar dos impactos ambientais observados em bacias hidrográficas, decorrerão novos processos de reaceleração de construção de hidrelétricas, o que levará à fragmentação de 25 dos 120 grandes rios atualmente classificados como de escoamento livre.

Os referidos autores asseveram ainda que, no mínimo 3.700 grandes barragens, cada uma com capacidade de mais do que 1 MW, estão sendo planejadas ou em construção no planeta, principalmente nos países de economias emergentes, com previsão da expansão da capacidade global de hidroeletricidade em 73%, isto é, a um limite próximo de 1.700 GW. Dessa forma, observam que, mesmo que essa dramática expansão da capacidade de hidroeletricidade ocorra, será ainda insuficiente para compensar a atual e futura demanda energética do planeta, pois essa tendência não incorrerá na redução das emissões de gases de efeito estufa (CO_2 e metano). Pior, pode não suprimir interdependências e conflitos socioambientais, sendo ao mesmo tempo quase certo que seja reduzido em 21% o número de grandes rios escoando livremente em todo o planeta.

CONCLUSÕES

Os métodos de estimativa de vazões ambientais, com base apenas em série histórica hidrológica ou estatística, falham porque não consideram outras dimensões, dentre as quais as sociais, econômicas e culturais, quanto as suas demandas e as ofertas de recursos hídricos nas bacias. Além disso, os métodos considerados tradicionais mostram-se deficientes em manter a integridade ecossistêmica das bacias atingidas por UHEs, por exemplo. É necessário considerar outras dimensões do uso da água, tanto em seus aspectos quantitativos quanto qualitativos.

A proposta do PVA deve ser aplicada com base na adoção de parâmetros holísticos, como Eh, Vec e De, considerando as necessidades conhecidas das diferentes interfaces dos meios aquático, terrestre e social afetados.

O cálculo do PVA deve ser específico para cada bacia estudada, respeitando as regionalidades e suas influências diretas sobre as características hidroclimáticas, que são também específicas para cada região. A indicação das classes em que cada bacia hidrográfica se enquadra no PVA é a principal proposta do método, vez que o mesmo indica também quais as medidas preventivas ou mitigadoras adequadas que devem ser adotadas para evitar danos aos ecossistemas.

O PVA oferece como resultado final a oportunidade também do uso de dados qualitativos, os quais podem elevar a eficiência de aplicação dos resultados. Principalmente as medidas mitigadoras da gestão de bacia após o barramento. Desse modo, os resultados apresentados nesta investigação podem ser disponibilizados aos gestores de bacias hidrográficas, servindo como suporte gerador de consenso na determinação da vazão ambiental.

Neste caso, o método permite a integração da base de dados das análises qualitativas às bases quantitativas. Desse modo, as tomadas de decisão para a conservação de ecossistemas aquáticos poderão ser mais flexíveis e adaptáveis às particularidades de diferentes bacias hidrográficas. Com destaque a participação de grupos usuários nas tomadas de decisões, tornando-se a principal estratégia na estimativa de seu valor.

A associação de variáveis holísticas com base na participação de agentes sociais na estruturação de metodologias de cálculo de vazões

é uma proposta que deve ser considerada também como parte do processo de construção da própria regulamentação do objeto de outorga para operação de reservatórios, ou formação de Comitês de Bacia.

Finalmente, as previsões de mudanças do clima, como o aumento da temperatura, além do aumento das incertezas sobre os novos padrões de distribuições de chuvas nas bacias amazônicas, destacando-se a sua porção oriental (Araguari, Jari e Tocantins), consideradas *hot spots* das manifestações das mudanças globais do clima, põem em xeque a fragilidade das previsões quantitativas (por exemplo, as taxas da evapotranspiração), tornando difícil avaliar qual é o papel dessas variações sobre a geração hidroenergética das UHEs e na gestão dos usos múltiplos das águas, a exemplo das frequentes secas prolongadas de 2015 (El Niño), o que tende a reduzir as vazões disponíveis de projeto das UHEs e que gerou uma significativa crise hidroenergética no Brasil.

As análises de tendências de mudanças do clima tornam o método PVA ainda mais interessante em avaliações e tomadas de decisão em bacias hidrográficas. Pois os processos participativos acrescentam outras dimensões aos prognósticos puramente estatísticos dos fenômenos hidrometeorológicos, permitindo também traduzir melhor os processos

hidrológicos complexos. Não somente isso, mas incluindo as dimensões ecológicas, sociais e econômicas, utilizando-se de uma linguagem simples do cotidiano de modo que haja maior participação dos processos decisórios durante os processos de outorga de uso de recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), na modalidade de bolsa e suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Processo nº 34868257000181/2012 para trabalho de campo com o apoio técnico do Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais do Laboratório de Química, Meio Ambiente e Saúde Ambiental da Universidade Federal do Amapá e bolsa de Desenvolvimento Técnico e Industrial do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia/Centro de Estudos Integrados da Biodiversidade Amazônica, com agradecimentos especiais ao Programa de Pós-Graduação em Direito Ambiental e Políticas Públicas da Universidade Federal do Amapá.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (2010) Programa Interáguas. Políticas Sociais do Programa Interáguas. *Relatório de Avaliação Social do Programa*. 216 p.
- BÁRBARA, V.F.; CUNHA, A.C.; SIQUEIRA, E.Q. (2010) Monitoramento Sazonal da Qualidade da Água do rio Araguari/AP. *Biociências*, v. 16, n. 1.
- BP GLOBAL. (2011) *Statistical Review of World Energy*. What's inside? hydroelectricity. Disponível em: <bp.com/statisticalreview>. Acesso em: 28 ago. 2011.
- BENETTI, A.D.; LANNA, A.E.; COBALCHINI, M.S. (2003) Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 2.
- BLACKSHEAR, B.; CROCKER, T.; DRUCKER, E.; FILOON, J.; KNELMAN, J.; SKILES, M. (2011) *Hydropower Vulnerability and Climate Change*. Vermont: Middlebury College Environmental Studies Senior Seminar. 82 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. (2007) O futuro da hidroeletricidade no Brasil. *Brasilneet workshop*, Brasília.
- CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A (ELETRONORTE). (2006) *Usina de Coaracy Nunes: primeira hidrelétrica da Amazônia completa 30 anos*. Disponível em: <http://www.eln.gov.br/Usinas/Coaracy_Nunes/index.asp>. Acesso em: 28 ago. 2011.
- CLIPPERTON, G.K.; KONING, C.W.; LOCKE, A.G.H.; MAHONEY, J.M.; QUAZI, B. (2003) *Instream Flow Needs Determinations for the South Saskatchewan River Basin, Alberta, Canada*. Alberta: Alberta Environment and Alberta Sustainable Resource Development. 271 p.
- COSTA, E.; ENSSLIN, L. (2012) Uso de mapas cognitivos no apoio a decisão na Vazão Ambiental: Caso de estudo rio São Francisco. *Revista Portuguesa de Recursos Hídricos*, v. 32, n. 2, p. 17-29.
- CURI, W.F.; CELESTE, A.B.; CURI, R.C.; RODRIGUES, A.C.L. (2011) Um modelo de outorga para bacias controladas por reservatórios. 1 - Desenvolvimento do modelo que contempla demandas múltiplas e variáveis mensalmente. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 16, n. 4, p. 73-82.
- CUNHA, A.C. (2013) Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade de água. *Biota Amazônica*, v. 3, n. 1, p. 124-143.
- CUNHA, A.C.; BRITO, D.C.; CUNHA, H.F.A.; SHULZ, H.E. (2011) Dam Effect On Stream Reaeration Evaluated With The Qual2kw Model: Case Study Of The Araguari River, Amazon Region, Amapá State/ Brazil. In: BILLIBIO, C.; SELBACH, O.H.J. (Orgs.). *Sustainable water management in the tropics and case studies in Brazil*. Universidade Federal do Pampas (Brazil) e Universidade de Kessel (Alemanha). v. 2, p. 153-178.
- CUNHA, A.C.; PINHEIRO, L.A.R.; CUNHA, H.F. (2013) 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.

- CUNHA, A.C.; VILHENA, J.E.S.; SANTOS, E.S.; SARAIVA, J.B.; KUHN, P.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.; SANTOS, P.V.C.J. (2014) Evento extremo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari-Amapá/Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, p. 95-110.
- CUNHA, E.D.S.; CUNHA, A.C.; SILVEIRA JR., A.M.; FAUSTINO, S.M.M. (2013) Phytoplankton of two rivers in the eastern Amazon: characterization of biodiversity and new occurrences. *Acta Botanica Brasílica*, v. 27, p. 364-377.
- DYSON, M.; BERGKAMP, G.; SCALON, J. (Eds.). (2003) *Flow: the Essentials of Environmental Flows*. 2. ed. Gland, Switzerland and Cambridge: IUCN. 132 p.
- ENSERINK, B.; PATEL, M.; KRANZ, N.; MAESTU, J. (2007) Cultural factors as co-determinants of participation in river basin management. *Ecology and Society*, v. 12, n. 2. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art24/>>. Acesso em: 06 ago. 2011.
- GALVÃO, D.M.O. (2008) *Subsídios à Determinação de Vazões Ambientais em Cursos d'água não regulados: O Caso do Ribeirão Pipiripau (DF/GO)*. 250f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Brasília, Brasília.
- GRAZIERA, M.L.M. (2013) A fixação de vazões de referência. *Revista de Direito Ambiental*, ano 18, v. 70.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genebra: IPCC.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2008) *Relatório técnico*. Disponível em: <<https://www.iea.org/media/weowebiste/2008-1994/WEO2008.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2011.
- LONGHI, E.H.; FORMIGA, K.T.M. (2011). Metodologia para determinar vazões ecológicas em rios. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 20, p. 33-48.
- LUCAS, E.W.M.; BARRETO, N.J.C.; CUNHA, A.C. (2010) Variabilidade Hidrológica da Bacia do Rio Jari (AP): Estudo de Caso do Ano de 2000. *Tempo, Clima e Recursos Hídricos*. Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. Amapá: IEPA. 216 p.
- MÉRONA, B.; JURAS, A.A.; SANTOS, G.M.; CINTRA, I.H.A. (2010) *Os Peixes e a Pesca no Baixo Tocantins: Vinte anos depois da UHE de Tucuruí*. 209 p.
- NEW SOUTH WALES (NSW) (2006). *Macro Water Sharing Plans: the approach for unregulated rivers*. Austrália: Department of Natural Resources, NSW. 56 p.
- OLIVEIRA, A.M.D. (2011) *Políticas públicas de gestão para prevenção e mitigação de desastres naturais na bacia do Rio Jari - AP*. 130f. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental e Políticas Públicas) - Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- OLIVEIRA, A.M.; CUNHA, A.C. (2015) Análise de risco como medida preventiva de inundações na Amazônia: estudo de caso de enchente de 2000 em Laranjal do Jari-AP, Brasil. *Ciência e Natura*. DOI: 10.5902/2179460X16224.
- OLIVEIRA, B.S.S.; CUNHA, A.C. (2014) Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. *Ambiente & Água*, v. 9, p. 261-275.
- SANTOS, E.S. (2012). *Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água em região de pororoca na foz do rio Araguari-AP*. 96f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- SANTOS, P.V.J.; CUNHA, A.C. (2013) Outorga de recursos hídricos e vazão ambiental no Brasil: perspectivas metodológicas frente ao desenvolvimento no setor hidrelétrico na Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, p. 81-95.
- SANTOS, P.V.C.J. (2011) *Potencial de Vazão Ambiental como subsídio à outorga de Recursos Hídricos para construção e operação de hidrelétricas na Amazônia*. 145f. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental e Políticas Públicas) - Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- SILVA, G.C.X. (2015) *Alterações de qualidade da água devido ao enchimento de reservatório pós-fragmentação do escoamento natural livre*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- SISTEMA DE INFORMAÇÕES DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO (SIPOT). (2013) *Mapa do potencial hidrelétrico brasileiro*. Eletrobras.
- SOITO JR., M.; FREITAS, A. (2011) Amazon and the expansion of hydropower in Brazil: Vulnerability, impacts and possibilities for adaptation to global climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 6, p. 3165-3177.
- TUNDISI, J.G. (2005) *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. 2. ed. São Carlos: Rima. 248 p.
- _____. (2007) Exploração do Potencial Hidrelétrico da Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 21.
- VON KORFF, Y.; D'AQUINO, P.; DANIELL, K.A.; BIJLSMA, R. (2010) Designing participation processes for water management and beyond. *Ecology and Society*, v. 15, n. 3. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art1/>>. Acesso em: 20 ago. 2011.
- WATER RESEARCH COMMISSION (WRC). (2008) *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*. Updated Edition. South Africa: WRC.
- WITTMANN, D. (2010) *Contribuição para avaliação de impactos ambientais causados pela geração de Hidroeletricidade na Amazônia*. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Paulista, São Paulo.
- ZARFL, C.; LUMSDON, A.E.; BERLEKAMP, J.; TYDECKS, L.; TOCKNER, K. (2015) A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, v. 77, p. 161-170. DOI: 10.4025/actasciobiolsci.v33i1.7313