

UM ESTUDO DE CHUVA-VAZÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AMAPARI (AMAPÁ)

Leandro Rodrigues de Souza¹, Alan Cavalcanti da Cunha² & Ana Paula Nunes da Silva³

RESUMO - O objetivo principal estudo foi simular parte do ciclo hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Amapari (BHRA) na análise de estudos de chuva-vazão em pontos específicos da bacia. A metodologia consistiu na utilização de dados hidrometeorológicos da BHRA com o uso do sistema hidrológico IPHS1. O modelo IPHS1 descreve a distribuição espacial da precipitação, o fluxo através do solo pela infiltração, a percolação da água subterrânea, o escoamento superficial e subsuperficial na bacia em que opera como um modelo concentrado no qual se utiliza séries de dados da estação hidrometeorológica de Serra do Navio para estimar hidrogramas em vários trechos da bacia. O principal resultado simulou respostas às perturbações hidrológicas na BHRA na perspectiva da inserção de aproveitamentos hidrelétricos no seu médio curso do rio através de hidrogramas. Observaram-se pequenas discrepâncias entre valores fluviométricos observados e simulados na bacia, os quais foram decorrentes da ausência de dados em algumas regiões ao longo da bacia hidrográfica, o que dificultou a análise preditiva mais precisa sobre o comportamento hidráulico (chuva-vazão).

ABSTRACT - The main goal of this study was simulate a part of the hydrological cycle of river basin Amapari-AP (ARHB) in analysis and studies of rainfall-runoff at specific points in the basin. The methodology, analyzing the effects with the insertion of Hydroelectric Advantages (AHE's). The methodology consisted of analyzing the hydrology of river basin Amapari using the hydrological system IPHS1. The IPHS1 model describes the spatial distribution of precipitation, the flow through the soil by infiltration, percolation of groundwater, surface runoff and subsurface in the basin in which it operates as a model which focused on using the series hidrometeorológica PCD Serra do Navio to estimate hydrographs and various portions of the basin. The main result of this study was to simulate responses to hydrological disturbance ARHB in view of the inclusion of hydropower in its segment of the river through hydrographs. However, there are small discrepancies between the values of fluviogramas observed and simulated basin, which were caused by the absence of data in some locations in the watershed, which made more accurate predictive analysis on the hydraulic behavior (rain-flow).

Palavras chaves: Amapá, IPHS1, Simulação Hidrológica.

¹ Doutorando na UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, 58428-795. souzalr@msn.com

² Professor Adjunto da UNIFAP. Rod. JK, s/n, Zéão, 68900-000, Macapá, AP. E-mail: alancunha@unifap.br

³ Doutoranda na UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, 58428-795. apns@ymail.com

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico, através do qual uma variável de entrada, como a precipitação, infiltração, área da bacia, etc, é transformada em uma variável de saída (vazão), por diversos processos do ciclo hidrológico. Uma das maneiras de representar esse processo é por intermédio de um hidrograma resultante relacionando a vazão média no intervalo de tempo (TUCCI *et al.* 1989). Entender a evolução temporal de eventos hidrológicos em uma bacia onde são construídas hidrelétricas, por exemplo, é um tema de relevância. Primeiro porque permite estudar a sensibilidade das variações hidrológicas para as sub-bacias com diferentes características e realizar um dimensionamento inicial dos fenômenos físicos envolvidos, além de possibilitar o planejamento e a análise de consistência de séries históricas e preenchimento de falhas nas mesmas (TUCCI, 1998; VIEGAS *et al.* 2004). No presente estudo, este tipo de análise foi útil para subsidiar uma série de informações técnicas que permitiram a escolha de futuros locais de barramentos na bacia do rio Amapari.

Na mesma região em estudo existe a Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes construída há pelo menos 3 décadas, na qual promoveu desde então a regularização da vazão do rio Araguari. Mas, as consequências ambientais deste processo são desconhecidas. Somente com estudos mais aprofundados hidrometeorológica sobre as modificações ecológicas dos sistemas aquáticos é que se podem obter reais conhecimentos dos efeitos causados pelos empreendimentos hidrelétricos e suas consequências ambientais (BÁRBARA, 2006; BRITO, 2008). No inventário da ANEEL (1999) foi realizada uma análise ambiental superficial, na qual o foco estava mais direcionado à divisão de quedas dos trechos dos principais rios afluentes (ECOTUMUCUMAQUE, 2008) e do próprio rio Araguari (ECOTUMUCUMAQUE, 2009) do que em propósitos ambientais.

Por outro lado, torna-se necessário registrar a deficiência de informações de interesse essencialmente sócio-ambiental para a Bacia Hidrográfica do Rio Amapari – BHRA (afluente do rio Araguari), o que limita uma série de análise de interesse na bacia. Apesar das limitações de séries históricas de longo prazo na bacia, os estudos anteriores se apresentam como de grande importância, em especial os desenvolvidos na sub-bacia do Rio Amapari (ECOTUMUCUMAQUE, 2008), como em subsídio de outros trabalhos técnico-científico na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (CUNHA 2004; BÁRBARA, 2006, BRITO, 2008). A escolha do sistema hidrológico IPHS1 visou suprir estas lacunas de informações técnicas. Além disso, trata-se de um software de livre acesso (software livre) e de fácil aplicabilidade para este tipo de análise de comportamento hidráulico em bacias, com número reduzido de dados sobre a bacia. Com o uso do sistema IPHS1 foi possível avaliar o comportamento da variação da vazão em cada uma das principais sub-trechos da BHRA.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A BHRA está localizada no município de Serra do Navio - AP, ocupando áreas de elevadas depressão. Possui aproximadamente 14.983Km² e é a principal sub-bacia contribuinte do Rio Araguari que tem aproximadamente 41.903Km², onde sua vegetação predominante é de Mata nativa.

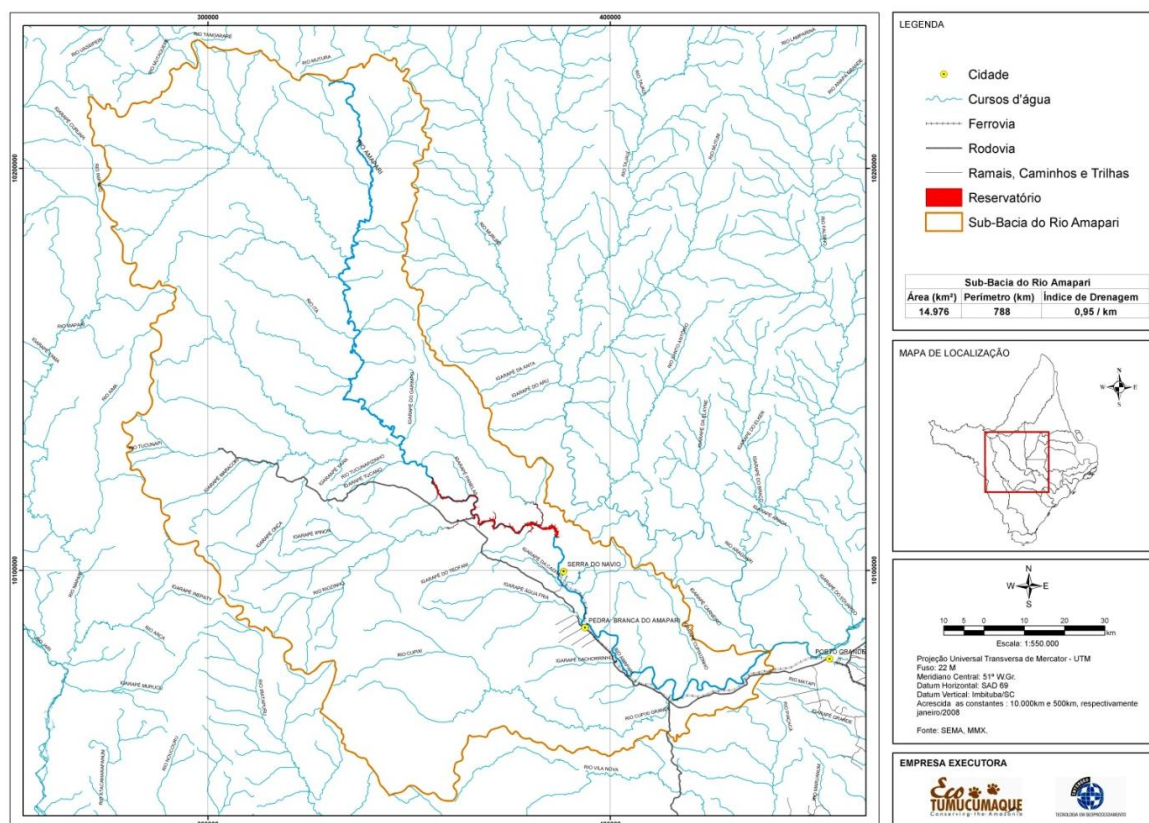


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do rio Amapari
Fonte: Ecotumucumaque (2008)

Para simular a bacia do Amapari foi necessário conhecer várias características fisiográficas da bacia como infiltração, precipitação, vazão em algum trecho, além de imagens geoprocessadas para saber distâncias de trechos e declividade, os quais são fundamentais para simular cenários hidrológicos de chuva-vazão.

2.2 Utilização dos Dados

Por intermédio de dados obtidos da Agência Nacional - ANA de Águas foi possível obter as médias mensais das variáveis precipitação e vazão na área em estudo. A Figura 2 apresenta a variação mensal da precipitação. Os meses mais chuvosos são março, abril e maio e os menos chuvosos são setembro, outubro e novembro. Os meses de junho a agosto e dezembro a fevereiro

são considerados como período de transição. Nota-se que os máximos observados nos meses de Março, Abril e Maio superam os 500mm/mês, enquanto que os mínimos neste período ficam abaixo dos 200mm/mês. Na época de seca os máximos registrados ficaram abaixo dos 250mm/mês e os mínimos inferiores a 100mm/mês.

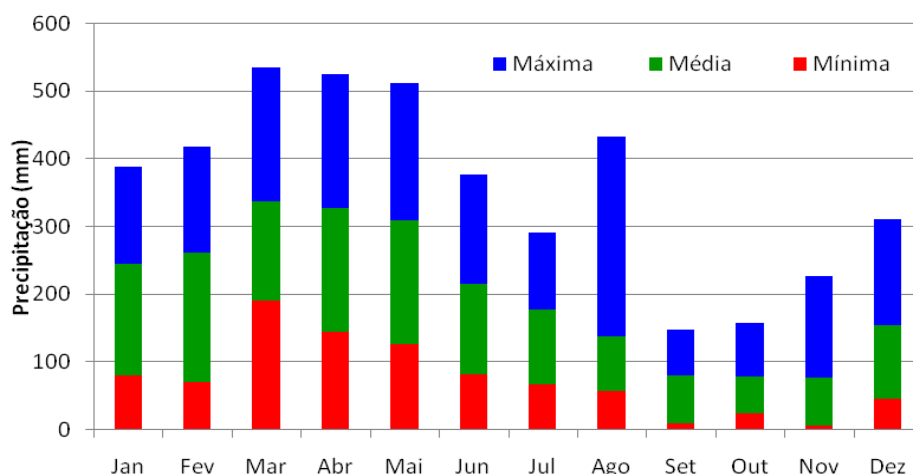


Figura 2 – Climatologia mensal de chuva média, máxima e mínima

Os dados de precipitação são utilizados com entradas no modelo IPHS1, os quais permitem realizar simulação da bacia e posteriormente fazer estudos mais avançados que possa caracterizar os efeitos de chuva-vazão na bacia do rio Amapari. Para este trabalho, utilizou dados da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) de Serra do Navio que está localizada 0,98°N e 52,05°W. Através destes dados podem-se estimar valores de vazão em outros trechos na bacia e avaliar potencial hidrelétrico em cada trecho.

2.3 Aplicação do Modelo IPHS1

Para o estudo da propagação de cheias (chuva-vazão) faz-se necessária a disponibilidade de séries hidrológicas de vazão, que segundo Tucci (1998) e Viegas *et al.* (2004) normalmente são mais curtas que as séries de precipitação. Os modelos de precipitação-vazão representam parte do ciclo hidrológico entre a pluviometria e o escoamento superficial. Os modelos hidrológicos devem descrever a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depressão do solo, o fluxo através do solo pela infiltração, percolação e água subterrânea, escoamento superficial, subsuperficial e no canal principal (BRUN, 1999).

Os modelos chuva-vazão permitem simular a parte do processo do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão, sendo possível completar períodos desconhecidos de vazão, além de estimá-las para diferentes cenários das bacias e prever a ocorrência de cheias ou outros eventos extremos.

Dentre os modelos de chuva-vazão, há aqueles específicos que podem ser usados para tais fins, dependendo dos parâmetros/características da bacia (GERMANO, 1998).

No IPHS1 estão acoplados vários modelos hidrológicos, com destaque o IPH2 que geram resultados satisfatórios para o objetivo de estudo (SOUZA, 2011). Além disso, e foi parametrizado de tal forma que se ajustasse as características da bacia. O Modelo IPH2 é do tipo concentrado (uniforme), aplicado para projetos de engenharia em bacias rurais e urbanas, o qual necessita de poucos parâmetros e se baseia em metodologias conhecidas. Mais detalhes da operação pode-se verificar em (SOUZA, 2012).

Tabela 1: Ajuste da parametrização do modelo IPH2.

Modelo IPH 2	Parametrização
I_o (mm/h)	13
I_b (mm/h)	0.23
H	0.86
Rmax (mm)	12

em que, I_o é a capacidade de infiltração máxima do solo; I_b é a capacidade de infiltração mínima do solo; h o parâmetro de decaimento da infiltração no solo; $R_{máx}$ o capacidade máxima do reservatório de interceptação;

O IPHS1 possibilitou a realização das simulações para um período de um ano, considerando suas respectivas médias diárias. Foram consideradas as informações hidrológicas de chuva-vazão e outras características físicas da bacia, além da inserção de posto de controle e sub-trechos (Figura 4).

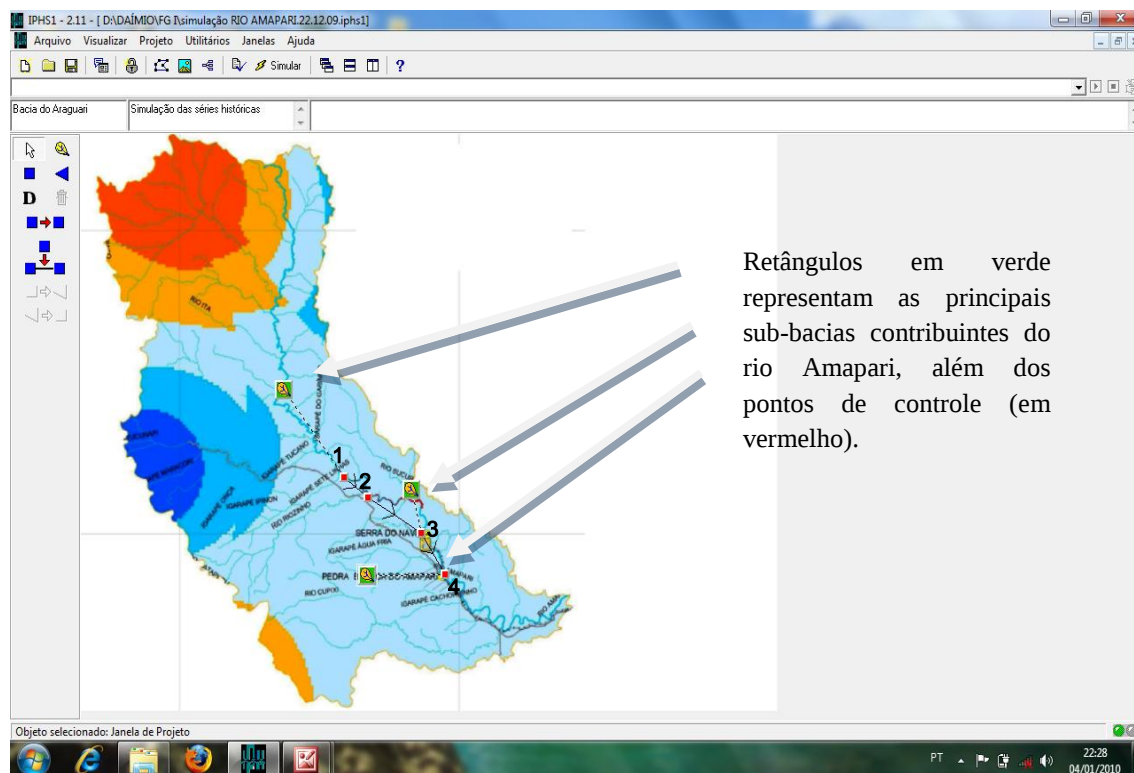


Figura 3 - Interface gráfica do IPHS1 representando a bacia do Amapari, com destaque para os pontos de controle e as sub-bacias

Na Figura 3 observam-se as principais sub-trechos (em vermelho) e alguns símbolos do Sistema IPHS1 projetados no mapa da bacia. Os pontos foram escolhidos por apresentar características de aproveitamento hidrelétrico: 1) Representa o ponto chamado de Sete Ilhas; 2) o ponto Riozinho; 3) Sucuriçu; 4) representar o ponto onde esta instalada a PCD de Serra do Navio, na qual servir para ajustar o modelo hidrológico.

2.4 Erro Absoluto Médio

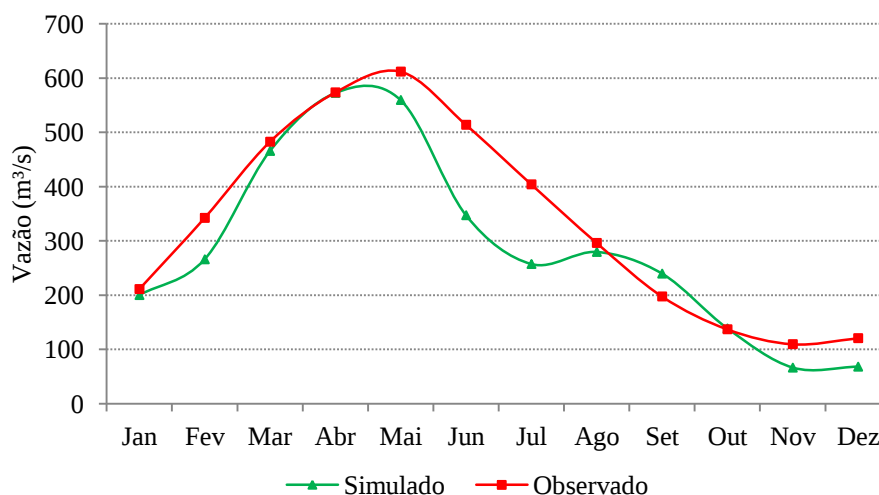
Uma forma de se avaliar um modelo é utilizar um conjunto de índices estatísticos, de forma que possam ser minimizados os erros de interpretação Cunha (2008) e De Maria *et al.* (2008). O Erro Absoluto Médio (EAM) é um destes índices que é eficiente na comparação direta entre dados simulados *versus* observados, conforme a Equação 1.

$$EAM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - O_i) \quad (1)$$

em que: E_i , o valor estimado; O_i , o valor observado; e N , número de observações (no caso em estudo, 12 meses). Quanto menor o valor, maior a semelhança entre as séries.

3. RESULTADOS E DISCURSSÃO

Na Figura 4 é apresentado o hidrograma observado *versus* simulado no ponto Serra do Navio. O resultado do modelo foi satisfatório já que as curvas com os dados observados e simulados mostram comportamento semelhantes. Verifica-se que o modelo foi bastante eficiente em reproduzir o comportamento sazonal da vazão com valores elevados no período úmido (chuvoso) e valores mais baixos no período de estiagem (seco). Por outro lado, observa-se também que apesar da clara reprodução na variabilidade mensal das vazões, os valores simulados foram ligeiramente superestimados no período transição da estação chuvosa para seca (junho e julho). Mas, isto é normal se tratando de uma bacia com forte amplitude de precipitação pluvial, em que os modelos hidrológicos não conseguem simular com eficiência períodos de transição.



Figuras 4 - Comparação dos dados observados e simulados do hidrograma resultante na PCD Serra do Navio

Na Figura 5 apresenta o gráfico do modelo resultante da regressão linear considerando os valores simulados e observados como padrão. Nota-se que os valores do modelo ajustaram-se melhor com r^2 cerca de 0,90 que segundo Devore (2006) é considerado correlação forte. O erro absoluto médio foi de $-55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, reforçando que o modelo subestimou ligeiramente, mas com representação satisfatória do hidrograma resultante.

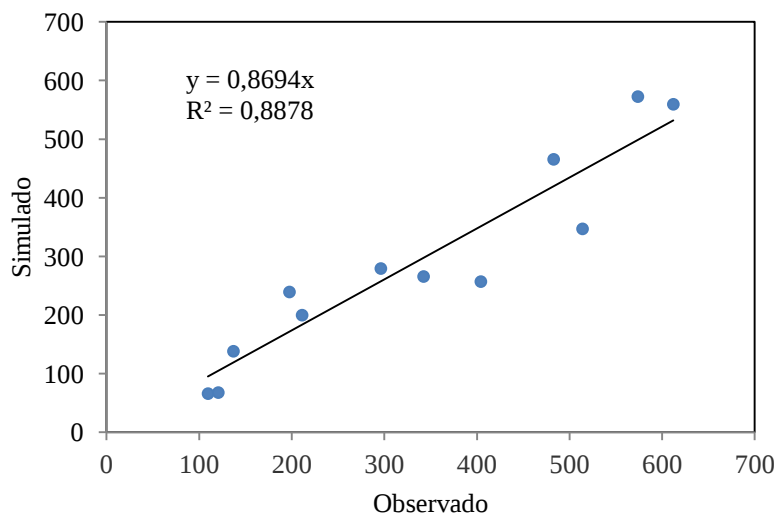


Figura 5- Regressão linear da vazão simulada em função da observada

A partir do ajuste do modelo para o ponto de Serra Navio, a simulação foi estendida para outros pontos verificados conforme a Figura 6. Percebe-se que os hidrogramas estão em concordância com o esperado, visto que, são pontos a montante do ponto de controle (Serra do Navio). Verifica-se ainda que os pontos convergem para um único valor em dezembro, talvez por algum erro sistemático do modelo hidrológico.

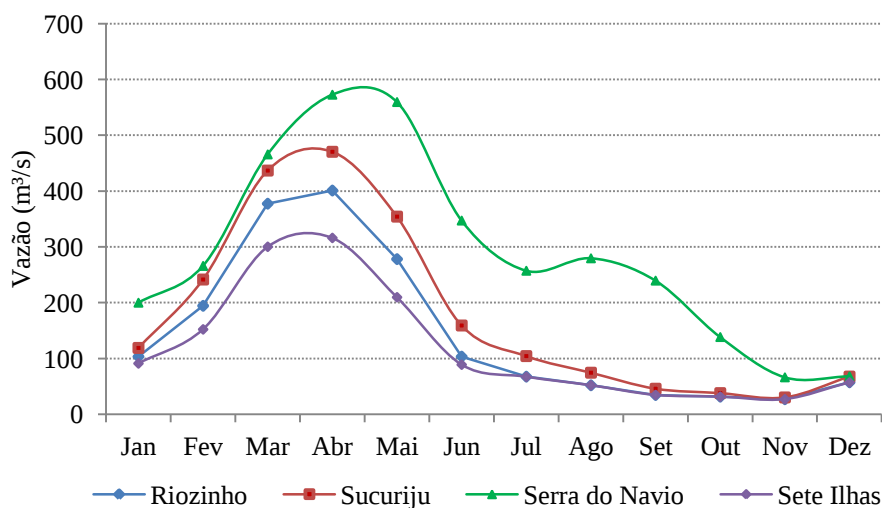


Figura 6 - Análise comparativa da saída do hidrograma resultante simulado em vários trechos do rio Amapari

Vale ressaltar que nos pontos Sete Ilhas e Riozinho apresentam valores muito próximos, haja vista que são pontos adjacentes (próximos), onde não ocorre grandes contribuições de vazão no período seco (outubro a janeiro). Já entre fevereiro e maio, observa-se uma diferença que pode ser explicada por chuvas localizadas.

4. CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento do ciclo hidrológico na BHRA. Os resultados da análise apontam para o fato de é necessário a construção de uma base teórica mais robusta para auxiliar estudos hidrológicos em bacias pouco estudadas, em especial quando se consideram outros parâmetros necessários para os estudos de impactos ambientais futuros numa bacia.

Um aspecto a ser considerado é a possibilidade de se avaliar o comportamento hidrológico na bacia de forma que se relacionem os processos físicos de chuva-vazão com outras informações da bacia, tais como os parâmetros geográficos, hidráulicos, características do solo, cobertura e vegetação, entre outras importantes. Neste aspecto, o IPHS1 foi capaz de simular as principais respostas gerais concernentes às perturbações de entrada na bacia do rio Amapari (chuva), apresentando respostas (vazão) quanto ao fenômeno de propagação das ondas de cheias. Estes resultados podem ser considerados como relevante na análise de diagnósticos deste tipo de análise na bacia hidrográfica, além de apresentar um indicativo do atual comportamento hidrológico, necessitando, naturalmente, de aprofundamentos. Somente com estudos detalhado das análises, complementadas com novos dados e aumento da confiabilidade dos parâmetros utilizados é que seria possível uma melhora das respostas do modelo nos trechos estudados da bacia.

Neste aspecto, as principais contribuições deste tipo de análise podem ser resumidas a seguir:

- Geração de novas informações sobre as características hidrológicas da bacia do rio Amapari, em especial a elaboração de uma breve caracterização das principais sub-bacias e da rede hidrográfica da parte superior e média da bacia onde ocorrerão os principais impactos ambientais decorrentes de construção de novos Aproveitamentos Hidrelétricos – AHE's.
- Realização de uma breve abordagem descritiva a partir de informações geradas pelo inventário da ANEEL e de séries históricas disponíveis em conjunto com a abordagem da simulação computacional.
- A abordagem numérica concernentes à simulação computacional hidrológica apresentou outras vantagens técnicas na análise de propagação dos efeitos chuva-vazão ao longo de um período anual do ciclo hidrológico. Desta forma, o comportamento hidrológico na bacia deve ter uma forte relação com o potencial hidrelétrico nos trechos estudados, considerando os aspectos físicos da bacia. Neste aspecto, foi possível estimar respostas realísticas (apesar de limitadas) da interação chuva-vazão que podem ser relevantes aos aspectos operacionais de hidrelétricas e suas correlações com aspectos ecológicos, tais como Potencial de Vazão Ambiental, muito utilizada para se determinar a gestão de recursos hídricos a jusante de barragens.

A relevância do tema desse tipo de estudo é confirmada pela política nacional do meio ambiente ao promulgar estudos preliminares para avaliar impactos que podem ser causados pela

construção de empreendimentos hidrelétricos o qual alteram significativamente o ecossistema local em grandes proporções.

A presente análise é parte fundamental de uma das etapas necessárias para a elaboração de um diagnóstico ambiental direcionado a novos AHE's. Neste aspecto, a geração e disponibilização de novos dados em outras localidades na bacia hidrográfica será possível uma análise preditiva mais eficiente sobre o comportamento hidráulico, principalmente e outros trechos de interesse na bacia hidrográfica onde se objetive os usos múltiplos dos recursos hídricos na bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a concessão das bolsas estudo e de Produtividade-PQ do CNPq, processo 305657/2009-7.

5. BIBLIOGRAFIA

ANA – “*Agência Nacional de Águas*”. Site Hidroweb. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 04 de abril de 2009.

ANEEL – “*Agência Nacional de Energias Elétricas*”. Ministério de Minas e Energia. Estudo das Águas no Brasil. Brasília/DF. 1999.

BÁRBARA, V. F. “*Uso do Modelo QUAL2E no Estudo da Qualidade da Água e da Capacidade de Autodepuração do Rio Araguari – AP (Amazônia)*”. 2006. 174 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

BRITO, D. C. “*Aplicação do Sistema de Modelagem da Qualidade da Água Qual2kw em Grandes Rios: O Caso do Alto e Médio Rio Araguari – AP*”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amapá. 2008.

BRUN, G. W. “*Previsão Contínua em Tempo Real do Volume de Afluência do Reservatório: Ernestina, RS*”. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 95 p. 1999.

CAMARGO, A. P. & SENTELHAS, P. C. (1997). “*Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil*”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 5, n. 1, p. 89–97.

CUNHA, A. C. “*Determinação do Coeficiente de Reaeração no Modelo QUAL2E Utilizando as Características Hidráulicas de Canais Abertos para Estudos de Impactos Ambientais no Rio Araguari – AP*”. p. 20. Projeto de Pesquisa CPAQ/IEPA e SETEC/CNPq. Programa Primeiros Projetos. Macapá (AP), 2004.

CUNHA, E. B. A. C. “*Investigação do Potencial Eólico de Região Serrana no Ceará*”. 2008. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2008.

De MARIA, P. H. S.; COSTA, A. C.; SOMBRA, S. S. (2008). “*Modelagem numérica em alta resolução para previsão de geração de energia eólica no Ceará*”. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 23, n. 4, p. 477-489.

DEVORE, J. L. (2006). “*Probabilidade e estatística para engenharia e ciência*”. São Paulo: Thomson Pioneira, 706 p.

ECOTUMUCUMAQUE. “*Estudo de Impacto Ambiental Pequena Central Hidrelétrica Capivara, Amapá*”, 2008.

ECOTUMUCUMAQUE. “*Diagnóstico Meio Físico para o EIA/RIMA de Cachoeira Caldeirão e Ferreira Gomes*”, Amapá, 2009.

ELETRONORTE, “*Inventário Hidrelétrico*”, 1999.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; Da SILVEIRA, A. L. L. (1998). Estimativas dos Parâmetros do Modelo IPH II para algumas Bacias Urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, n. 4, pp. 103-120.

SOUZA, L. R.; CUNHA, A. C.; CORREIA, M. F; TAVARES, A. L. (2011). “*Experimentação e simulação hidrológica aplicada ao uso de energia hidrocínética na bacia do rio Maracá – Amapá*”. Engenharia Ambiental (UNIPINHAL. Impresso), v. 8, n. 1, p. 110-125.

SOUZA, L. R. “*Simulação hidrológica e aplicação de uma análise multivariada no estudo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio São Francisco*”. 84p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

TUCCI, C. E. M.; ZAMANILLO, E.; PASINATO, H. (1989). “*Sistema de simulação precipitação-vazão IPHS1*”. Porto Alegre: Recursos Hídricos n. 20 IPH-UFRGS, 1989 (Publicação Aperiódica).

TUCCI, C. E. M. (1998). “*Modelos hidrológicos*”. ABRH, Ed. UFRGS. Porto Alegre. 669 p.

VIEGAS FILHO, F.; TUCCI, C. E. M.; VILLANUEVA, A, G.; ALASIA. D. ; TASSI, T.; DAMÉ, R. C. F. (2004). “*Manual do usuário IPHS1 para Windows*”, v. 2.11 – PDF. IPH/UFRGS, Porto Alegre/ RS, 46 p.