

SUSCEPTIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE CHEIAS NO RIO SOLIMÕES A PARTIR DO MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão¹ & Cleber Assis dos Santos² & Aline Maria Meiguins de Lima^{3} & Edson José Paulino de Rocha⁴*

Resumo – Os municípios do entorno da calha do rio Solimões tem sofrido os efeitos da ocorrência dos eventos extremos (cheias/estiagens) dos últimos anos, e gradativamente tem se adaptado a variabilidade destes. Com o objetivo de identificar às áreas de maior susceptibilidade a ocorrência dos eventos de cheias, considerando a concentração destes ao longo da calha do rio Solimões; este trabalho utilizou dados de precipitação pluviométrica do período de 1992 a 2012, que foram analisados e processados empregando o processo de interpolação; a partir dos valores definidos para o acumulado anual do período durante o mês mais chuvoso, e zoneados considerando a resposta em termos de variabilidade das cotas no período de 1995 a 2012. Os resultados obtidos indicaram que a área de menor potencial está à montante, porém a maior parte da região definida apresenta um comportamento variando de moderado a alto, com uma distribuição regular de localidades próximas as margens do rio. Tal quadro reforça a demanda por um monitoramento sistemático ao longo do rio Solimões integrado a um sistema de alerta para redução do risco ambiental gerado pelo efeito tanto das cheias quanto das estiagens mais prolongadas.

Palavras-Chave – Rio Solimões, monitoramento, zoneamento.

SOLIMÕES RIVER SUSCEPTIBILITY TO FLOODING USING THE RAINFALL DISTRIBUTION MODEL

Abstract – The municipalities around the Solimões river valley has suffered the effects of the occurrence of extreme events (floods/droughts) in recent years, and has gradually adapted to the variability of these. In order to identify the areas with susceptibility to flood events along the Solimões river valley, this study used data from rainfall period of 1992 to 2012, which were analyzed and processed using the interpolation process. The cumulative annual during the wettest month was defined and zoned, considering the variability of the river level data from 1995 to 2012. The results indicated a lower potential in upstream river, but most of the region has a defined behavior ranging from moderate to high, with a regular distribution of localities near the river banks. This framework reinforces the demand for systematic monitoring along the Solimões river integrated with warning system for environmental risk reduction by the effect of floods events or droughts more prolonged.

Keywords – Solimões river, monitoring, zoning.

¹Universidade Federal do Pará. oliveiraserrao@gmail.com.

² Universidade Federal do Pará. cleber_ufpa@yahoo.com.br.

³ Universidade Federal do Pará. ameiguins@ufpa.br.

⁴ Universidade Federal do Pará. eprocha@ufpa.br.

* Autor Correspondente.

INTRODUÇÃO

A discussão sobre o comportamento da precipitação pluviométrica na bacia Amazônica têm se ampliado a partir das pesquisas sobre mudanças climáticas e a contribuição do desmatamento para ocorrência destas (INPE, 2011). A relação entre a perda da cobertura vegetal e as modificações de comportamento de outras variáveis componentes do ciclo hidrológico (evaporação, evapotranspiração, infiltração) é outro aspecto de destaque (BALBINOT *et al.*, 2008); porém, a vasta rede de drenagem e o comportamento de planície amazônica dificultam a caracterização de padrões idealizados, demonstrando assim a complexidade da região.

A consequência direta da alteração do comportamento hidrológico, tanto no referente às cheias quanto as estiagens está na mudança da dinâmica fluvial. A ocorrência de processos erosivos e de “terras caídas” (PACHECO; BRANDÃO, 2012) e a intensa deposição de sedimentos tendem a apresentar um padrão diferenciado gerando impactos nas margens próximas as áreas ocupadas e para a navegação (SANTOS *et al.*, 2010). O monitoramento hidrológico deveria ser uma forma de antecipar tais alterações, porém dada as dimensões da bacia Amazônica e os custos de logística para a manutenção continuada das estações, a atual rede não consegue atender e aferir de forma homogênea espacialmente as demandas da bacia. A consequência direta está na dificuldade de gerar alertas preventivos para as comunidades e cidades que possam ser afetadas tanto pelos eventos mais chuvosos quanto pelos de escassez hídrica (SEYLER *et al.*, 2009).

A bacia hidrográfica do rio Solimões representa o médio-alto curso da bacia Amazônica, sua importância é associada tanto a componente hidrológica, como a de manutenção dos ecossistemas associados ao bioma Amazônico (MOREIRA *et al.*, 2009). Com uma área de cerca de 2.214.327 km², considerando desde a borda da bacia andina, tem como principais afluentes os rios Marañon e Javari; estes sofrem influência da dinâmica dos processos andinos, sendo susceptível a componente variabilidade climática que pode gerar um comportamento diferenciado relativo aos períodos mais e menos chuvosos na região, especialmente sob os efeitos do El Niño e da La Niña (MARENGO *et al.*, 2008; VAL *et al.*, 2010).

No suporte a identificação das demandas de monitoramento para a gestão preventiva de cheias foi elaborado um zoneamento considerando o histórico de precipitações pluviométricas ao longo da calha do rio Solimões, delimitada a partir das sub bacias definidas como de “Ordem 5” segundo o Sistema Ottobacias (Resolução n. 30/2002 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos), com a proposição de zonas consideradas prioritárias tanto em função da ocupação humana como para a preservação dos ecossistemas locais. A análise da concentração de tais efeitos ao longo da calha não desconsidera o comportamento da bacia como um todo. A bacia hidrográfica como uma unidade reflete os fenômenos e as ações exercidas em seu território, por meio da variação de seu comportamento hidrológico (PEREIRA *et al.*, 2003).

A escolha da delimitação espacial adotada justifica-se na possibilidade de avaliar o emprego de métodos de interpolação (GARDIMAN Jr *et al.*, 2012) visando caracterizar a variabilidade espacial da precipitação pluviométrica, baseado em dados amostrais situados em localidades específicas de interesse, que neste caso seriam as estações próximas aos municípios situados nas proximidades da calha do rio Solimões e que se tornam os primeiros impactados pelo efeito das cheias. Os resultados obtidos puderam ser comparados aos estabelecidos pela Normal Climatológica para a região.

METODOLOGIA

A sistemática empregada constou: da adoção do conceito de bacia hidrográfica na determinação da área geográfica que representaria a calha do rio Solimões, uma vez que esta derivou das sub bacias definidas como de “Ordem 5” segundo o Sistema Ottobacias (Resolução CNRH n. 30/2002); espacialização destas segundo a rede pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA); avaliação do comportamento da precipitação pluviométrica por estação; e zoneamento destas informações, identificando os períodos mais críticos associados às cheias.

Na avaliação de série histórica de precipitações pluviométricas foi adotada a precipitação pluviométrica acumulada na estação seca, que vai de julho a dezembro; e na estação chuvosa, que vai de janeiro a junho, considerando o intervalo temporal de 20 anos (1992 a 2012). No total foram empregadas 11 estações posicionadas ao longo da calha do rio Solimões: São Paulo de Olivença, Santo Antônio do Içá, Santa Rita do Weil, Manacapuru, Jutica, Espírito Santo, Barro Alto - São Raimundo do Ipixuna, Palmeiras do Javari, Santos Dumont, União e Anamá; desde a proximidade de sua confluência com os rios Maraion e Javari, até próximo a sua foz junto ao rio Solimões (município de Manaus). E como pontos de controle foram adotadas 7 estações de monitoramento da variação de nível (cotas): a montante - Tabatinga e São Paulo de Olivença; próximo à confluência dos rios a Maraion e Javari, no médio curso - Fonte Boa e Tefé; e a jusante - Coari, Codajás e Manacapuru; considerando o intervalo de 1995 a 2012.

O zoneamento foi definido a partir da identificação do comportamento da distribuição da precipitação pluviométrica ao longo da área delimitada. As informações foram processadas empregando um interpolador específico (*Inverso do Quadrado da Distância - IQD*), onde a influência de cada ponto é inversamente proporcional à distância do nó da malha (ALVES *et al.*, 2012). Trata-se de um modelo determinístico de efeito local (CAMARGO *et al.*, 2002) onde as resoluções de grades de interpolação devem ter coerência com resoluções de malhas amostrais (MAZZINI; SCHETTINI, 2009). Considerando estes pressupostos o IQD mostrou-se mais eficiente, dada a distribuição das estações ao longo da calha ter configurado certa regularidade, e pelo objetivo de centralizar a análise neste eixo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta o rio Solimões e seus principais tributários afluentes, assim como a área final proposta de delimitação, tendo sido usado como referência os limites de trechos de rio delimitados a partir da “Ordem 5” do sistema de Ottobacias. A Figura 2a ilustra a distribuição da precipitação pluviométrica obtida ao longo da calha do rio Solimões e o zoneamento efetuado no período mais chuvoso. Os valores obtidos foram concordantes com os definidos pela Normal Climatológica considerando o período mais chuvoso (janeiro-junho) e o menos chuvoso (julho-dezembro) para as estações de: Benjamin Constant, Fonte Boa, Tefé, Coari, Codajás e Manaus; demonstrando que houve compatibilidade com a metodologia adotada (Figuras 2b e 3). Onde observa-se um comportamento de maior intensidade a montante (Benjamin Constant), com uma redução no médio curso e um novo incremento próximo a foz (Manaus).

Tendo como parâmetro norteador a área delimitada foi empregada a seguinte classificação em termos de susceptibilidade à ocorrência de cheias considerando apenas a influência da precipitação pluviométrica na região: “Baixa” - valores menores que 1.228,37 mm; de “Moderado” - entre

1.228,37 a 1.605,05mm; e “Alta” - valores maiores que 1.605,05 mm (Figura 4). Em coerência com o observado a partir do comportamento das cotas demonstrado na Figura 5.

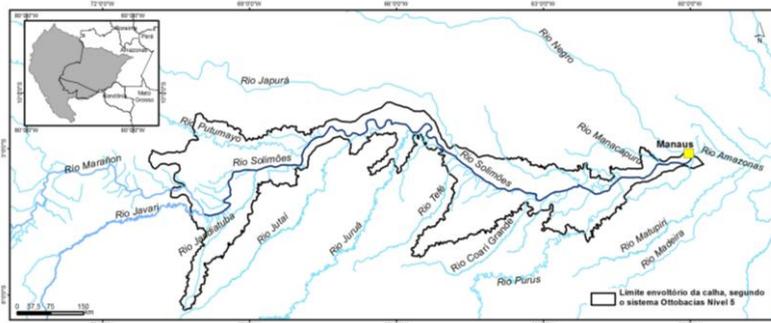


Figura 1 – Rio Solimões, da confluência entre os rios Maranhão e Javari até Manaus, quando recebe as águas do rio Negro para formação do rio Amazonas.

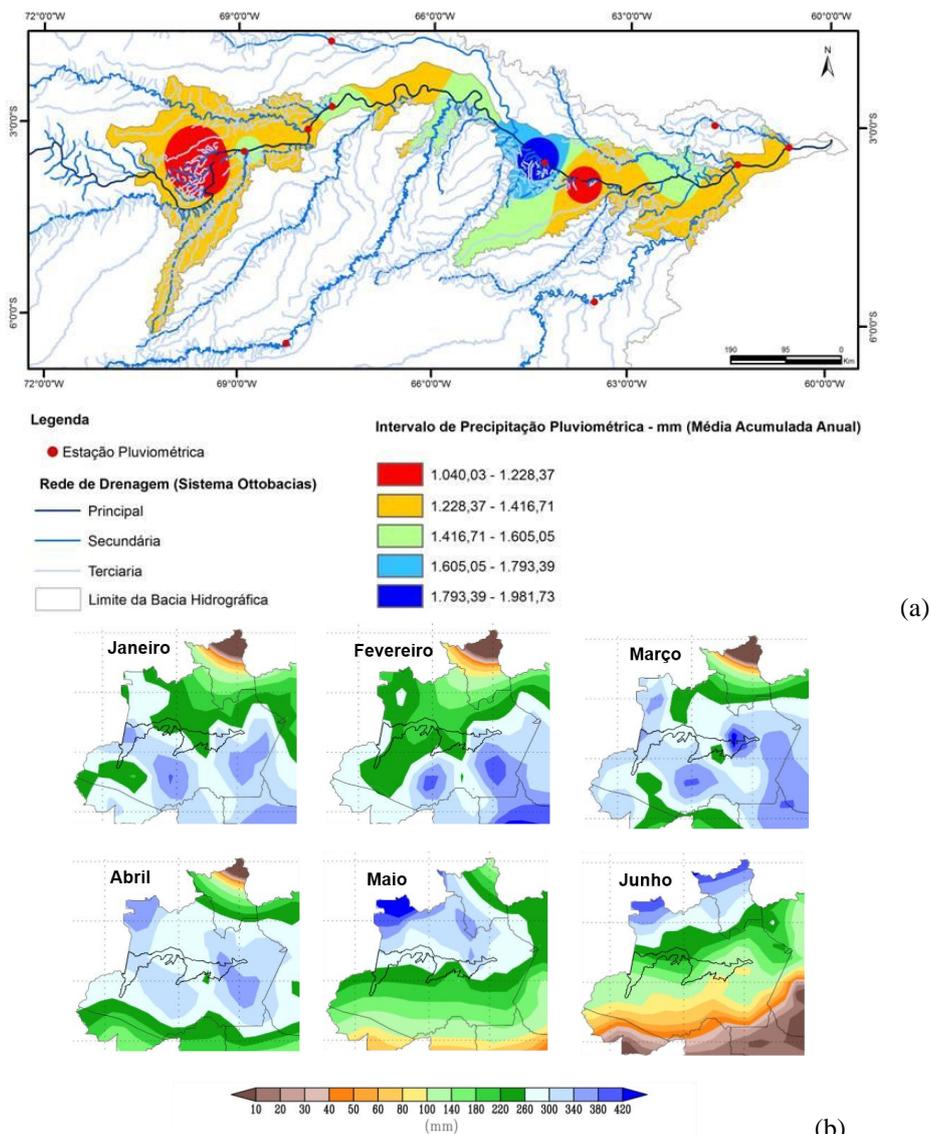


Figura 2 – (a) Zoneamento da calha do rio Solimões a partir da intensidade da precipitação pluviométrica: período mais chuvoso; (b) Normal Climatológica/INMET (1961-1990) - acumulado anual do período mais chuvoso.

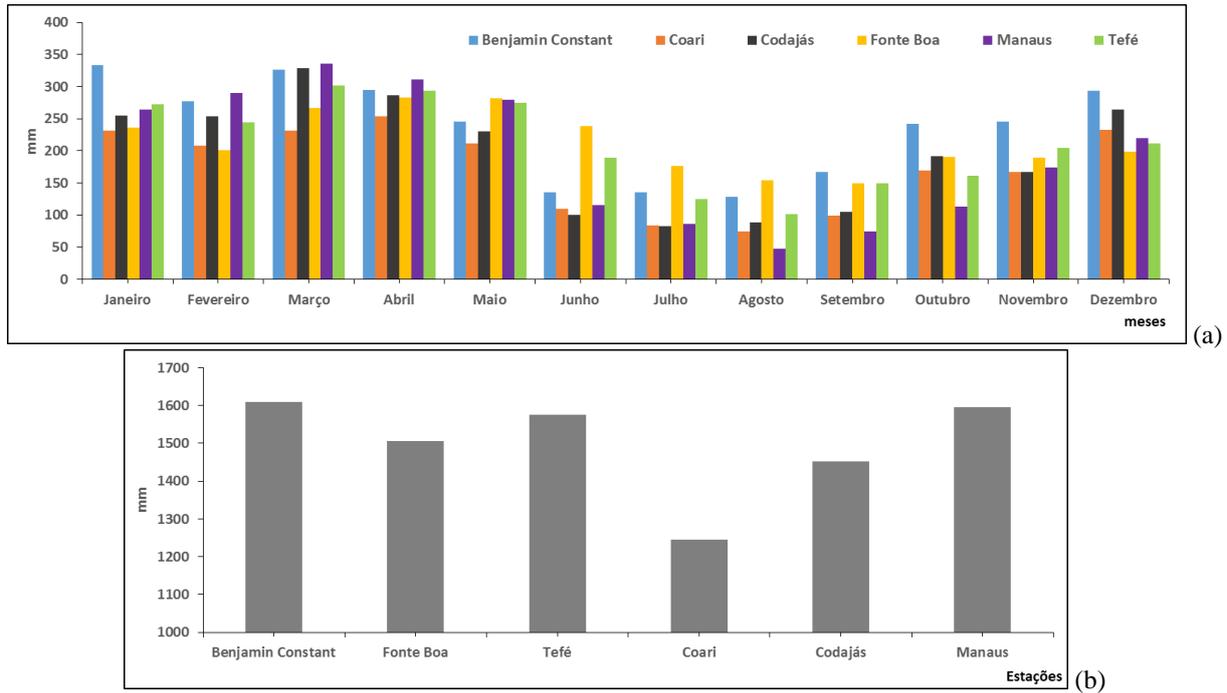


Figura 3. Distribuição da precipitação pluviométrica segundo a Normal Climatológica/INMET para as estações de: Benjamin Constant, Fonte Boa, Tefé, Coari, Codajás e Manaus: (a) Média mensal (1961-1990); (b) Acumulado do período mais chuvoso.

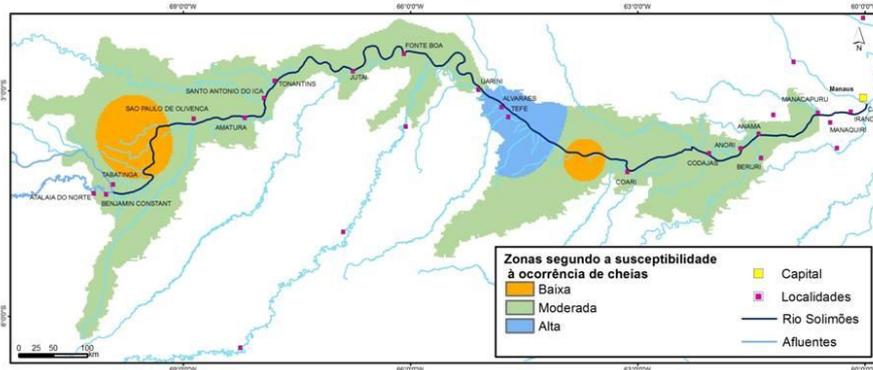


Figura 4 – Susceptibilidade as cheias em decorrência da variação do período mais chuvoso.

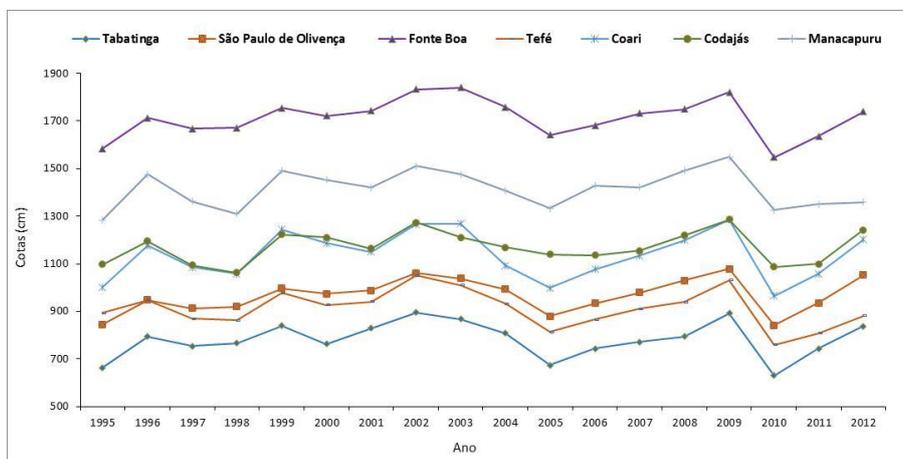


Figura 5 – Variação de nível ao longo da área da bacia delimitada.

Na estação seca (Figura 6) é observada uma diferença máxima de 663,97 mm entre o máximo de precipitação entre os dois períodos (mais chuvoso e menos chuvoso); e de 291,06 mm entre os mínimos (Figura 7). Onde as cidades mais próximas a foz sofrem mais com esta variabilidade, do que as cidades localizadas mais a montante. Esta diferença é também observada na Figura 8; onde se nota que, na média, existe um comportamento mais acentuado nos máximos de cheias do que nos mínimos de vazante.

Tendo como condicionante a área de análise o comportamento observado em função da precipitação pluviométrica foi: “Moderado a Baixo” a montante, com uma variação de nível média em torno de 0,7 m em Tabatinga e 0,9 m em São Paulo de Olivença; “Moderado a Alto” no médio curso, com os maiores valores de cotas observados na estação de Fonte Boa (em torno de 1,7 m); e “Alto a Moderado” a jusante, porém em termos de cotas em Manacapuru são registrados valores em torno de 1,4 m.

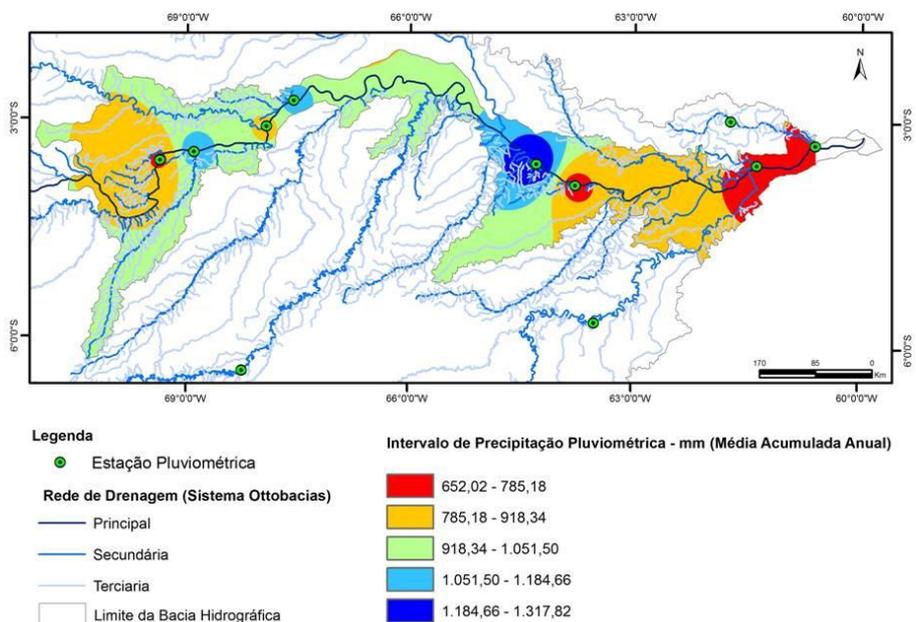


Figura 6 – Zoneamento da calha do rio Solimões a partir da intensidade da precipitação pluviométrica: período menos chuvoso.

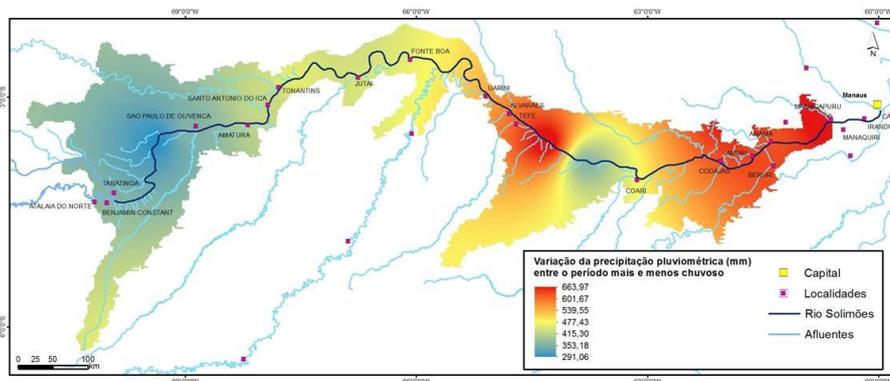


Figura 7 – Zonas definidas pela diferença entre o período mais chuvoso e o menos chuvoso.

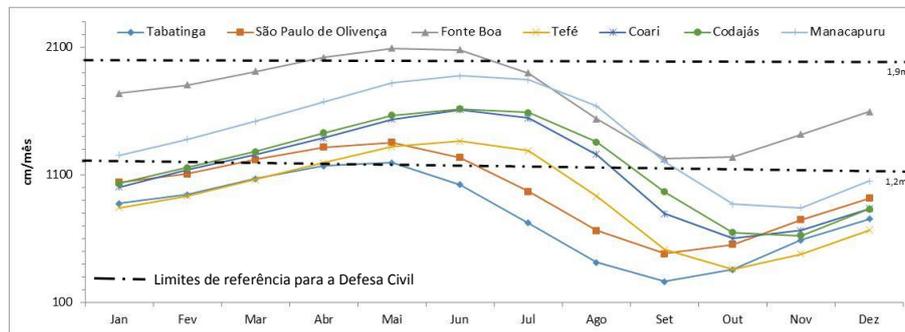


Figura 8 – Distribuição das cotas (média mensal de 1995 a 2012) e os limites de referência da Defesa Civil.

De forma geral, o período analisado (1992 a 2012) permitiu identificar a ocorrência de eventos marcantes de cheias em 1999, 2002 e 2009 (NASCIMENTO *et al.*, 2010). Os períodos considerados de “seca” foram melhor definidos nos anos de 1997/1998, 2005 e 2010; que para Marengo *et al.* (2008) e Lewis *et al.* (2010) podem ser associados ao El Niño e ao aquecimento anômalo no Atlântico Norte.

A CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) realiza de forma continuada relatórios de monitoramento envolvendo os extremos em Tabatinga e Manacapuru; já apresentando um comportamento médio que define uma situação de emergência para Defesa Civil, que em Tabatinga é superior a 1,2 m e em Manacapuru a referência é superior a 1,9 m (CPRM, 2012). No período analisado (1995-2012) a estação de Tabatinga apresentou maior permanência de valores próximos a este limite de março a maio; e em Manacapuru, os valores de cota que mais se aproximaram do limite foram de maio a julho.

Em termos de prioridades ao monitoramento continuado propõe-se a manutenção da rede ao longo do rio Solimões com a avaliação das componentes: chuva, vazão e cotas; de tal forma a compor um sistema de alerta as cidades diretamente impactadas pelas flutuações de nível. Nesta situação, Manaus, dada sua importância como capital do estado do Amazonas, tem recebido especial atenção dada as consequências para a população que habita na orla da cidade e os prejuízos financeiros gerados ao município. Porém, observa-se a presença de cerca de 20 localidades (Figura 3) que podem ser diretamente impactadas pelos períodos de cheias e que devem receber o sistema de alerta para a mobilização da população local, considerando que a maioria encontra-se na faixa que varia de Moderado a Alta susceptibilidade e com maior variação entre os períodos mais e menos chuvosos.

CONCLUSÕES

A análise de séries históricas de 20 anos para precipitação pluviométrica e 17 anos para variação de nível (cotas) ao longo do rio Solimões demonstrou que este tem sofrido os reflexos dos eventos climáticos ocorridos na região Amazônica, cujas consequências têm repercussão nas cidades que se localizam nas suas margens. O monitoramento continuado é a única forma de antecipar tais eventos e possibilitar uma maior ação do poder público com a emissão de sinais de alerta. Outro fator que demonstra a importância de tais ações é a proximidade destes eventos que no rio Solimões foram marcantes em termos de cheias (1999, 2002, 2009) e secas (1997/1998, 2005, 2010). O curto retorno destes é um alerta para a intensificação destes fenômenos e a necessidade de se realizar a gestão das áreas afetadas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S.; VECCHIA, F. (2012). Interpolação espacial climatologia: análise dos critérios que precedem sua aplicação. *Revista Geonorte*, Edição Especial 2, v.1, n.5, p. 606-618.
- BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. (2008). O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. *Ambiência*, v. 4, n. 1, p. 131-149.
- CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. (2002). Análise espacial de superfícies. In *Análise espacial de dados geográficos*. Org. por Fuks, S. D.; Carvalho, M. S.; Câmara, G.; Monteiro, A. M. V. São José dos Campos: INPE, 2002. 37p.
- CPRM. (2012). *Monitoramento hidrológico*. Boletim Abril/2012. Brasília: CPRM/ANA, 12p.
- GARDIMAN Jr, B.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. A. A.; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). *Ambiência*, v. 8 n. 1 p. 61-71, 2012.
- INPE. (2011). *Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasília-DF, 56p.
- LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. (2011). The 2010 Amazon Drought. *Science*, vol. 331, n. 6017, p. 554.
- MARENGO J. A.; NOBRE. C.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.; OLIVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; BROWN, I. F. (2008). The drought of Amazônia in 2005. *Journal of Climate*, n. 21, p. 495-516.
- MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. (2009). Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. *Braz. Journal of Aquatic Science Technology*, 13(1), p. 53-64.
- MOREIRA, F. M. S.; NÓBREGA, R. S. A.; JESUS, E. C.; FERREIRA, D. F.; PÉREZ, D. V. (2009). Differentiation in the fertility of Inceptisols as related to land use in the upper Solimões river region, western Amazon. *Science of the Total Environment*, n. 408, p. 349-355.
- NASCIMENTO, T. S.; SARAIVA, J. M. B.; SENNA, R.; AGUIAR, F. E. O. (2010). Preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos com base em dados do CPC (Climate Prediction Center): estudo de caso do Rio Solimões – Amazonas. *Revista Brasileira de Climatologia*, Ano 6, vol. 7, set., p. 143-158.
- PACHECO, J. B.; BRANDÃO, J. C. M. (2012). Geomorfologia fluvial do rio Solimões/Amazonas: estratégias do povo vazeano do sudoeste do careiro da várzea. *Revista Geonorte*, Edição Especial, v.2, n.4, p. 542-554.
- PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Distribuição espacial das variáveis hidrológicas na bacia do rio São Francisco. *Engenharia na Agricultura*, v. 11, n. 1-4, Jan./Dez., 2003, p. 32-42.
- SANTOS, G. G. S.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. (2010). Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 115-123.
- SEYLER, F.; CALMANT, S.; SILVA, J.; FILIZOLA, N.; COCHONNEAU, G.; BONNET, M.P.; COSTI, A. C. Z. (2009). Inundation risk in large tropical basins and potential survey from radar altimetry: example in the Amazon Basin. *Marine Geodesy*, n. 32, p. 303-319.
- VAL, A. L.; ALMEIDA-VAL, V. M. F.; FEARNSIDE, P. M.; SANTOS, G. M.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W.; NOZAWA, S. R.; SILVA, S. T.; DANTAS, F. A. C. (2010). Amazônia: recursos hídricos e sustentabilidade. In *Águas do Brasil: análises estratégicas*. Org. por Bicudo, C. E. M.; Tundisi, J. G.; Scheuenstuhl, M. C. B. Instituto de Botânica, São Paulo-SP, 224 p.