



CHEIA DE 2014 NA BACIA DO RIO MADEIRA

Andrea de Oliveira Germano¹ & Alice Castilho² & Marcio Candido³ & Francisco Reis⁴

Resumo – No ano hidrológico de outubro de 2013 a setembro de 2014 foi registrado volume de precipitação excepcional nas cabeceiras do rio Madeira, o que resultou na maior cheia já monitorada na bacia do rio Madeira, que atingiu a cota de 19,69m na estação fluviométrica de Porto Velho. Este artigo apresenta as atividades desenvolvidas para o registro da cheia histórica, bem como para alertar a população atingida. Todas as informações levantadas constituem num acervo histórico de grande importância para definir curvas chaves em seu ramo superior e conseqüentemente geração de vazões em cotas altas com maior grau de confiabilidade; e também de levantamento de áreas inundadas usadas para a gestão territorial, evacuação de áreas numa cheia futura e calibração de modelos hidrodinâmicos.

Palavras-Chave – cheia no rio Madeira, previsão de vazões, sistema de alerta de cheias.

FLOOD OF 2014 IN MADEIRA RIVER

Abstract - In the hydrological year October 2013 to September 2014, it was registered an exceptional volume of rainfall in the headwaters of the Madeira River, that caused the biggest flood already monitored in this basin, reaching the level of 19,69m on the fluviometric station of Porto Velho. This paper shares the team response strategy of researchers and technicians of the CPRM to register this event and to warn the population. All the information obtained are an important historical collection used to define rate curves in high stages, resulting in discharge series with a high reliability. The mapping of inundation plain is used in territorial management, to take off people in a future flood and to calibrate hydrodynamic models.

Keywords – Flood in Madeira river, Flood Forecasting, Warning Flood System.

INTRODUÇÃO

O registro e medição de vazões históricas máximas nem sempre é possível, devido a vários fatores: disponibilidade de equipe, acesso ao rio, segurança da equipe, equipamento adequado para realização da medição, contudo a medição de uma vazão máxima nunca registrada é fundamental para os projetos de obras hidráulicas, dimensionamento de usinas hidrelétricas (vertedores), como base para dimensionamento de sistemas de drenagem e órgãos de segurança de barragens, entre outras tantas aplicações. Sem as informações básicas de vazões, os projetos de aproveitamento de recursos hídricos tendem a ser menos precisos, conduzindo a resultados duvidosos, que ora tendem a ser extremamente conservadores e custosos, ora a serem de risco superior ao admitido.

Em 2014 foi registrada uma cheia histórica no rio Madeira. Este artigo apresenta o registro das informações referentes a esta cheia. O artigo está organizado da seguinte forma, primeiramente é apresentada a Caracterização da Área de Estudo, onde além das características físicas da bacia, são apresentados a causa da cheia histórica e o hidrograma da cheia de 2014 comparado com demais vazões características registradas em Porto Velho. Na sequência são apresentadas as

¹ Serviço Geológico do Brasil – CPRM /DEHID andrea.germano@cprm.gov.br

² Serviço Geológico do Brasil – CPRM/DEHID alice.castilho@cprm.gov.br

³ Serviço Geológico do Brasil – CPRM/SUREG-BH marcio.candido@cprm.gov.br

⁴ Serviço Geológico do Brasil – CPRM/REPO francisco.reis@cprm.gov.br

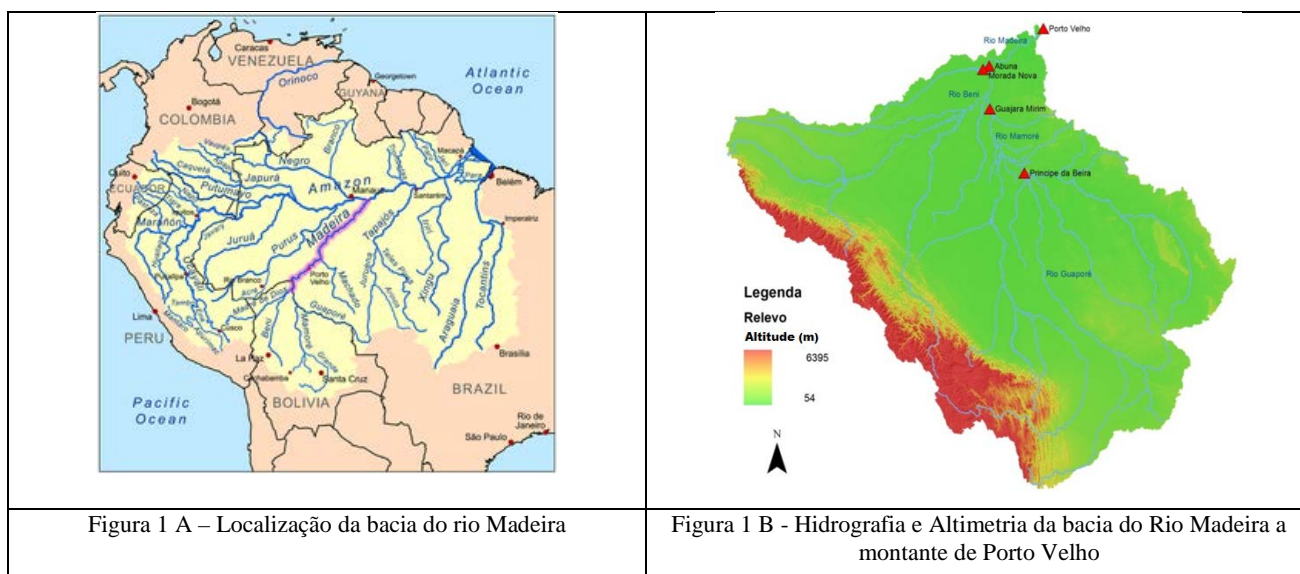
informações levantadas desta cheia, que foi possível com elevado grau de detalhamento, pelo fato da CPRM ter uma unidade operacional em Porto Velho, principal cidade afetada pela cheia.

As dificuldades encontradas no monitoramento desta cheia foram decorrentes, principalmente, pelo fato de grande parte da bacia estar localizada em territórios peruano e boliviano, onde não há monitoramento hidrometeorológico por parte de órgãos brasileiros.

Como a área de drenagem do rio Madeira é muito grande, cerca de um milhão de km² em Porto Velho, o maior problema desta cheia foi o fato de áreas terem ficado inundadas por um longo período, de vários dias, tanto urbanas como a rodovia BR-364, que liga o estado do Acre ao restante do Brasil.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Madeira tem uma área total de aproximadamente 1,35 milhões de km², o que representa aproximadamente 23% da bacia Amazônica, aproximadamente o dobro do tamanho de qualquer outra bacia tributária, e ocupa territórios da Bolívia, do Brasil e do Peru, sendo 41% no Brasil e o restante em área internacional (Figura 1A). Em território brasileiro, ocupa área de 548.960 km², onde estão compreendidos, total ou parcialmente, 88 municípios, sendo 52 de Rondônia, 18 do Mato Grosso, 12 do Amazonas e 6 do Acre. (ANA, 2013).



A bacia tem um formato aproximadamente triangular, com dimensões máximas, no território nacional, de 1.475 km de comprimento e 3.100 km de largura, na base do “triângulo” que corresponde à fronteira Brasil-Bolívia, estabelecida pelos rios Abunã, Madeira (entre a foz do Abunã e a confluência Beni-Mamoré), Mamoré e Guaporé. A porção brasileira da bacia é constituída de platôs, com declividade acentuada, que cortam transversalmente os principais tributários do rio Madeira. (ANA, 2013).

A rede hidrológica básica nacional é de responsabilidade da ANA/CPRM na parte brasileira desta bacia. O rio Madeira tem como seus principais formadores os rios Guaporé, Mamoré e Beni. Todos estes rios têm suas nascentes na Bolívia e Peru, sendo que o último, boa parte nas vertentes da Cordilheira dos Andes, com cotas que podem atingir a casa de 6.000m de altitude, conforme apresentado na (Figura 1B).

A causa desta cheia extraordinária foi o elevado índice de precipitação registrado na bacia afluente a Porto Velho nos últimos 3 anos hidrológicos (2011/2012; 2012/2013 e 2013/2014), sendo

que neste último, de outubro de 2013 a março de 2014, foram registradas precipitações de até 58% acima da média histórica. (Figura 2 A).

No ano hidrológico de outubro de 2013 a setembro de 2014 foi verificada a maior cheia já monitorada na bacia do rio Madeira. A cota do rio Madeira neste evento em Porto Velho atingiu 19,69m no dia 28/03/2014 (Figura 2 B).

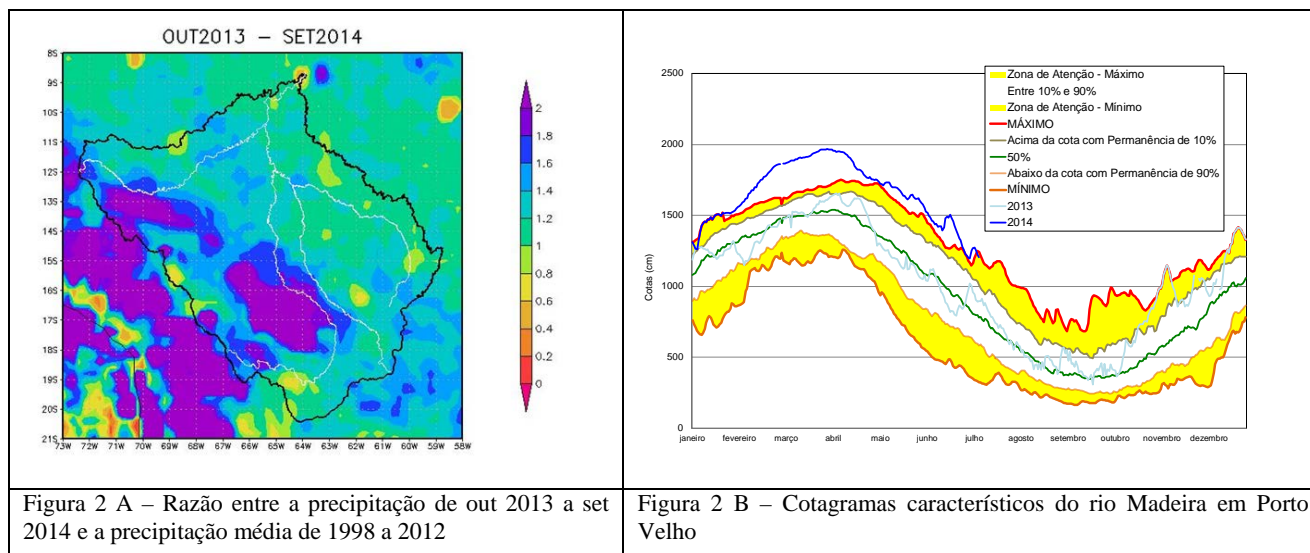


Figura 2 A – Razão entre a precipitação de out 2013 a set 2014 e a precipitação média de 1998 a 2012

Figura 2 B – Cotogramas característicos do rio Madeira em Porto Velho

ATIVIDADES REALIZADAS

Durante a cheia de 2014 foram realizadas as seguintes atividades:

- Medições de vazões;
- Mapeamento de áreas inundadas;
- Operação de sistema de alerta de enchentes.

Medições de vazão

Foram realizadas cerca de 50 medições de vazão diária durante a evolução do hidrograma no rio Madeira na estação de Porto Velho. Os medidores utilizados foram: acústico-doppler M9 e o ADCP 600kHz e 300kHz integrados a um GPS RTK e a um DGPS.

Na (Tabela 1. Resumo das medições máximas históricas na estação fluviométrica 15400000) é apresentado um resumo das medições com os valores da medição da máxima histórica medida até o evento de 2014, e o valor da medição da máxima histórica medida no evento de 2014, na estação fluviométrica de Porto Velho, código 15400000.

Tabela 1 Resumo das medições máximas históricas na estação fluviométrica 15400000

Data	Cota Máx Obs(cm)	Cota Máx Med (cm)	Vazão medida (m ³ /s)
21/04/1984	1751	1726	48.288
28/03/2014	1969	1966	60.066

As vazões medidas foram usadas para a redefinição da curva chave de Porto Velho no seu ramo superior. Na Figura 3 A pode ser visualizada a atualização do ramo superior da curva-chave da estação Porto Velho (15400000).

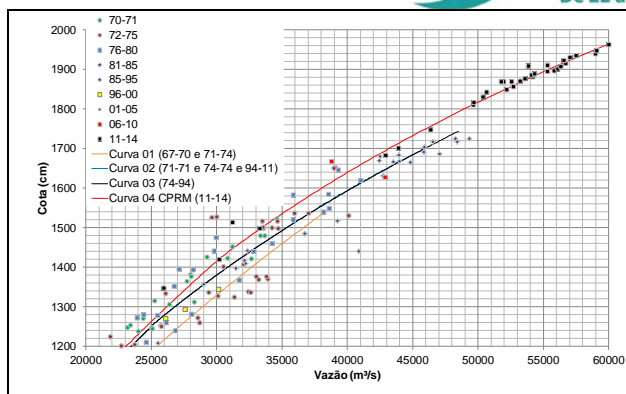


Figura 3 A - Atualização do ramo superior da curva-chave de Porto Velho e restituição das demais curvas

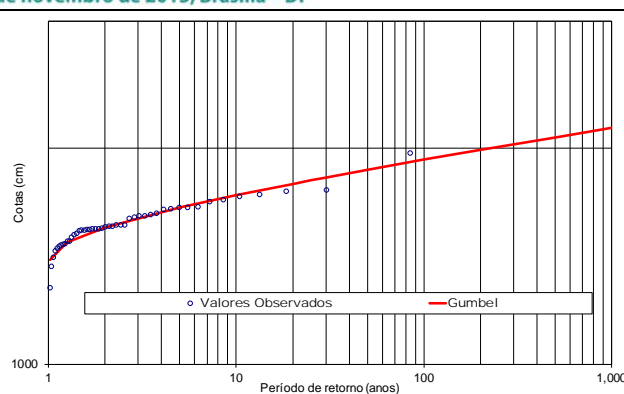


Figura 3 B - Ajuste da distribuição Gumbel para estação de Porto Velho -15400000

Com as máximas vazões calculadas por meio das curvas chaves atualizadas foi elaborada a análise de frequência das vazões para as estações de Porto Velho, Abunã e Guajaramirim.

A título de comparação a (Tabela 2. Cotas máximas registradas em Porto Velho por ano hidrológico) apresenta as cheias cujas cotas registradas, de 1967 em diante em Porto Velho, foram maiores do que 16,50m. Na estação Porto Velho (15400000), a cota máxima atingida (média diária) foi de 19,69m, que conforme a atualização realizada corresponde a um tempo de retorno de aproximadamente 161 anos. Na Figura 3 B pode ser observado o ajuste de Gumbel atualizado para a estação. Para o rio Madeira em Abunã, o período de retorno da cheia de 2014 foi de aproximadamente 205 anos e em Guajaramirim no rio Mamoré de aproximadamente 260 anos.

Tabela 2 Cotas máximas registradas em Porto Velho por ano hidrológico

Ano hidrológico	Cota em Porto Velho (cm)
1973/1974	1650
1978/1979	1648
1981/1982	1716
1983/1984	1744
1985/1986	1727
1992/1993	1684
1996/1997	1751
2000/2001	1654
2007/2008	1695
2010/2011	1658
2012/2013	1654
2013/2014	1969

LEVANTAMENTO DE ÁREAS INUNDADAS

Durante a cheia de 2014 foram mapeadas as áreas inundadas das cidades de Porto Velho, Abunã e Jaci-Paraná, sendo que nestas duas últimas cidades foi feito o levantamento somente na mancha referente à cota máxima. Já na cidade de Porto Velho foi feito o levantamento das manchas de inundação para as seguintes cotas: 17m (TR~9anos); 18m (TR~25anos); 19m (TR~75anos); 19,50m (TR~150anos), conforme apresentado na Figura 4.

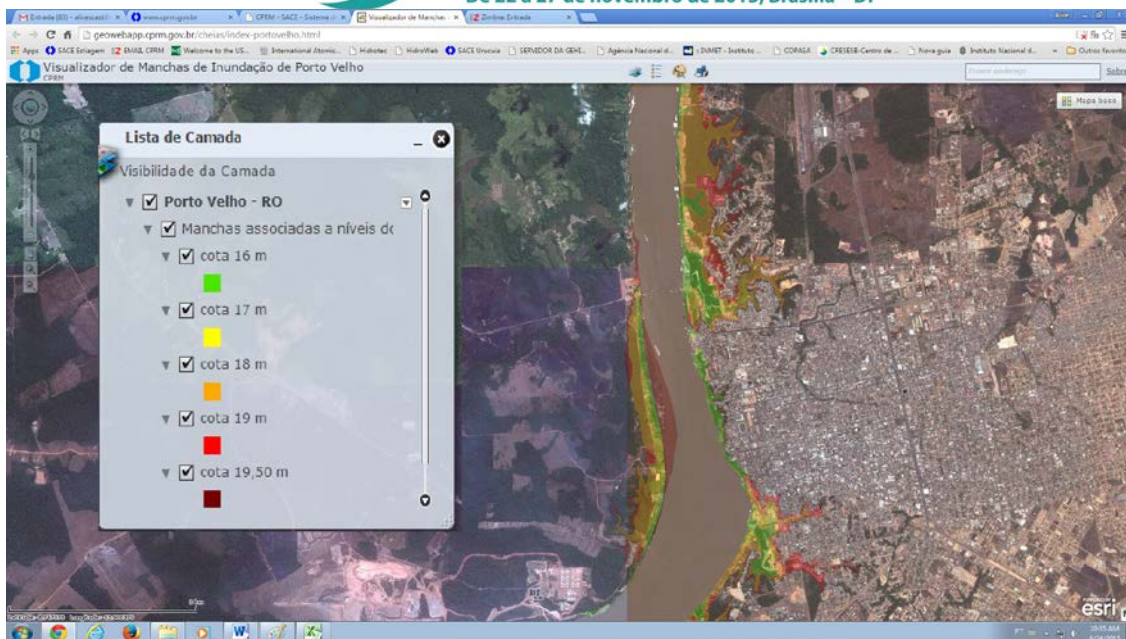


Figura 4 – Manchas de inundação levantadas para a cidade de Porto Velho

OPERAÇÃO DE SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS

No cenário brasileiro de prevenção de Desastres Naturais, a CPRM apoia fornecendo dados hidrológicos, previsões hidrológicas e mapeamentos o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), criado em 2011, com o objetivo de monitorar o território brasileiro e emitir alertas sobre desastres naturais, com atenção especial para municípios de maior vulnerabilidade a eventos críticos de característica hidrológica (Soler *et al.*, 2013). No início da cheia de 2013-2014 a CPRM, Unidade Porto Velho (REPO), passou a monitorar o evento através da sala de situação, implantada no final do ano de 2013.

Um sistema de alerta de cheias é composto pelas seguintes atividades:

- Acompanhamento da previsão meteorológica;
- Monitoramento hidrológico de precipitação, cotas e vazões;
- Elaboração de prognóstico;
- Elaboração de boletins informativos;
- Divulgação das informações.

O acompanhamento da previsão meteorológica é feito consultando sites de instituições brasileiras e internacionais responsáveis pela elaboração deste produto, como INMET e INPE.

Monitoramento hidrológico de precipitação, cotas e vazões

Monitoramento de precipitação

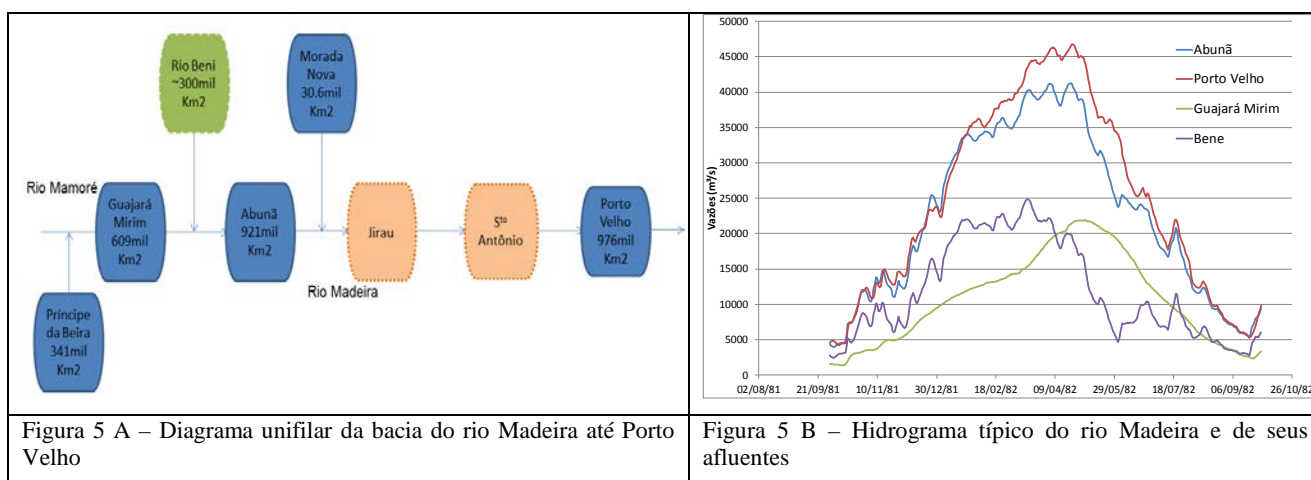
Cerca de 60% da bacia do rio Madeira está localizada em territórios peruano e boliviano. Assim, o monitoramento da precipitação foi feito através do produto disponibilizado pelo INPE (Precmerge) de monitoramento de precipitação por satélite e dados observados.

Monitoramento de cotas

Foi feito o monitoramento de cotas e vazões automaticamente e através de observadores duas vezes por dia (7 e 17h) nas estações em azul constantes na Figura 5 A. Observa-se que nesta

Figura as usinas de Santo Antônio e Jirau dos Consórcios Santo Antônio e Energia Sustentável do Brasil, que entraram em operação a partir de 2012.

Um dos afluentes do rio Madeira, o rio Beni, tem suas nascentes no Peru e Bolívia na Cordilheira dos Andes, sua área de drenagem é de cerca de um terço da área do rio Madeira em Porto Velho, apesar disto, a sua vazão representa cerca de 50% da vazão do rio Madeira nesta estação, conforme pode ser visto num hidrograma típico apresentado na Figura 5 B. Observando-se esta figura verifica-se que o pico da cheia do rio Beni ocorre entre os meses de dezembro a março, e o pico do rio Mamoré em Guajara Mirim é registrado entre abril e junho. Já o pico no rio Madeira, que representa a soma destes hidrogramas, ocorre entre março a maio.



Prognóstico de Cotas e Vazões

O rio Madeira, até Porto Velho, possui uma área de drenagem de 976 mil km² e tem como seus principais formadores os rios Guaporé, Mamoré e Beni. Todos estes rios têm suas nascentes na Bolívia e Peru, sendo que o último, boa parte nas vertentes da Cordilheira dos Andes, com cotas que pode atingir a casa de 6.000m de altitude. A CPRM não monitora estações na bacia do rio Beni e esta bacia. Ou seja, a previsão hidrológica fica muito prejudicada sem uma importante parte das informações de montante de Porto Velho.

Foram desenvolvidos modelos de previsão de vazões, baseados em conceitos de autoregressão e propagação linear utilizando regressão linear múltipla, para os pontos de interesse listados na (Tabela 3. Síntese dos modelos de previsão de vazões utilizados no monitoramento da cheia do rio Madeira).

Tabela 3 – Síntese dos modelos de previsão de vazões utilizados no monitoramento da cheia do rio Madeira

Estação	Código	Rio	Tipo	Dados de Entrada	Prev(d)
Príncipe da Beira	15200000	Mamoré	Autoregressivo	Q (15200000)	5
Guajará Mirim	15250000	Mamoré	Autoregressivo	Q (15250000)	5
			Propagação linear	Q (15200000;15250000)	3
Beni mont confluência Mamoré	-	Beni	Autoregressivo	Q (15320002;15250000)	5
Mamoré mont confluência Beni	-	Mamoré	Autoregressivo	Q (15250000)	5
Abunã	15320002	Madeira	Autoregressivo	Q (15320002)	5
			Propagação linear	Q (15250000;15320002)	1
Porto Velho	15400000	Madeira	Autoregressivo	Q (15400000)	5
			Propagação linear	Q (15320002;15400000)	1

Q - vazão

Além deste tipo de modelo de previsão de curto prazo, foi utilizado modelo de transformação chuva em vazão, com escala de tempo mensal, baseado em conceito de reservatórios superficial e subterrâneo para a previsão de vazões de médio prazo, com o objetivo de avaliar quanto tempo levaria a subida e a descida do nível do rio Madeira em Porto Velho e conseqüentemente, quanto tempo as áreas ficariam inundadas, inclusive a rodovia de acesso ao Acre (BR-364).

Para a previsão do tempo de liberação da rodovia BR-364, foram utilizados também dados de altimetria por satélite disponível para os rios da Amazônia. Para tanto foram utilizados dados de monitoramento de antes e depois da construção das usinas, conforme apresentado na Figura 6.

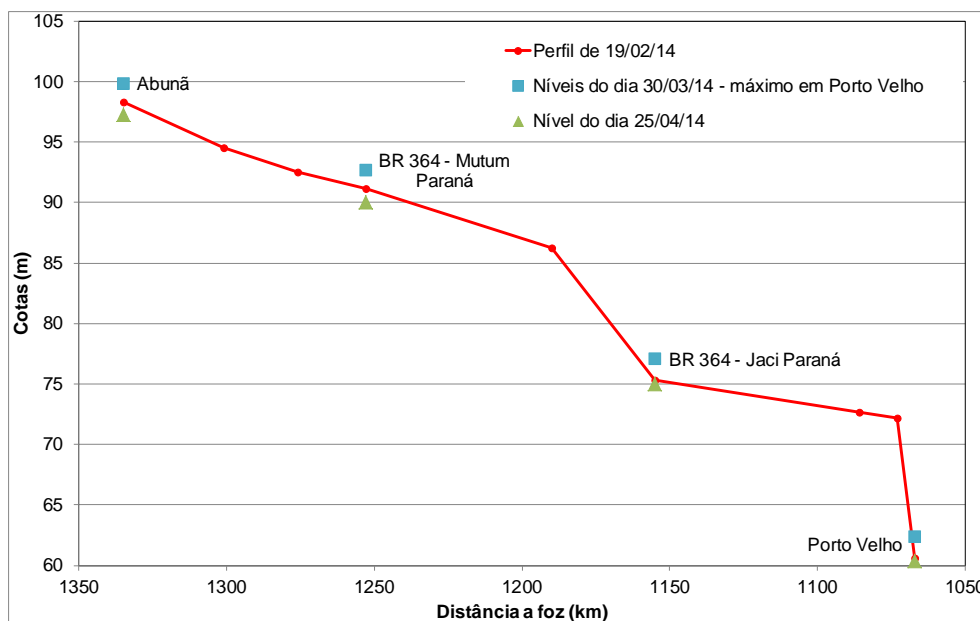


Figura 6 – Perfil do rio Madeira durante a cheia de 2014 a montante de Porto Velho

Emissão de Boletins

Foram emitidos 40 boletins diários em março e abril de 2014 para diversas instituições: CEMADEN; SIPAM; ANA; DNIT; Defesa Civil Estadual e Municipal e Usinas de Santo Antônio e Jirau. Os boletins diários apresentaram um resumo dos dados de níveis do rio da estação de Porto Velho e da Usina de Santo Antônio. Também constava o andamento das campanhas de medição de vazão no rio Madeira em Porto Velho, assim como as previsões de níveis para Porto Velho.

Divulgação

Os dados de cotas monitoradas nas estações fluviométricas automáticas foram divulgadas em tempo real na internet no SACE – Sistema de Alerta de Eventos Críticos (Figura 7). O SACE é um sistema computacional desenvolvido em Java, capaz de coletar, armazenar, analisar e divulgar os dados das estações automáticas coletados por diversos equipamentos; transmitidos via GPRS ou satélite, armazenados via pasta, ftp ou url. Neste sistema os dados automáticos passam por uma análise preliminar composta por filtros de: variações bruscas em pequenos espaços de tempo; permanência de valor ao longo de um período grande; valores máximo e mínimo admitidos; comparação entre sensores. Este sistema disponibiliza os dados monitorados no site da CPRM, em forma tabular e gráfica. Além disso, permite o armazenamento de equações de previsão hidrológica de baixa complexidade, bem como publica e transmite os boletins na página e via e-mail para os interessados. O SACE-MADEIRA pode ser visualizado no site: <http://www.cprm.gov.br/sace/>. Além dos dados das estações e boletins, foram divulgadas no SACE as manchas de inundação levantadas.



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF



Figura 7 – Sistema de alerta de Eventos Críticos - SACE

CONCLUSÕES

As informações levantadas durante a cheia histórica são de fundamental importância para a geração de séries de vazões das estações da região, cujos dados têm utilização diversa: geração de energia, abastecimento, navegação, dimensionamento de estruturas como pontes e portos, locação de malha viária, etc.

Favoreceu o levantamento das informações o fato da CPRM ter uma unidade operacional na principal cidade atingida pela cheia, possibilitando a realização de medições de vazão ao longo do hidrograma e o levantamento das manchas de inundação.

As dificuldades encontradas foram em função de grande parte da bacia, estar localizada fora do território brasileiro, onde não existe monitoramento por parte de órgãos do Brasil.

É necessário investir na modelagem hidrológica com uso de modelos de transformação de chuva em vazão, usando como dados de entrada previsões meteorológicas e precipitações estimadas por satélite. É necessário também investir na utilização da altimetria por satélite em especial em monitoramento de cheias.

REFERÊNCIAS

ANA, 2013. Plano estratégico de recursos hídricos dos afluentes da margem direita do rio Amazonas: diagnóstico / Agência Nacional de Águas.

CPRM, 2014. Serviço Geológico do Brasil. Acesso em 01 de junho de 2015. Disponível em: <http://sace-madeira.cprm.gov.br/sace-madeira/>

HidroWeb, Agência Nacional de Águas (ANA). Acesso em 25 de janeiro de 2015. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>

SOLER, L. S. *et al.* (2013). Challenges and perspectives of innovative digital ecosystems designed to monitor and warn natural disasters in Brazil. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems*, p. 254-261.